Contributes to reporting on the state of Canada's environment

Contribue aux rapports sur l'état de l'environnement au Canada

BOUCLIER BORÉAL

Évaluation Écologique de

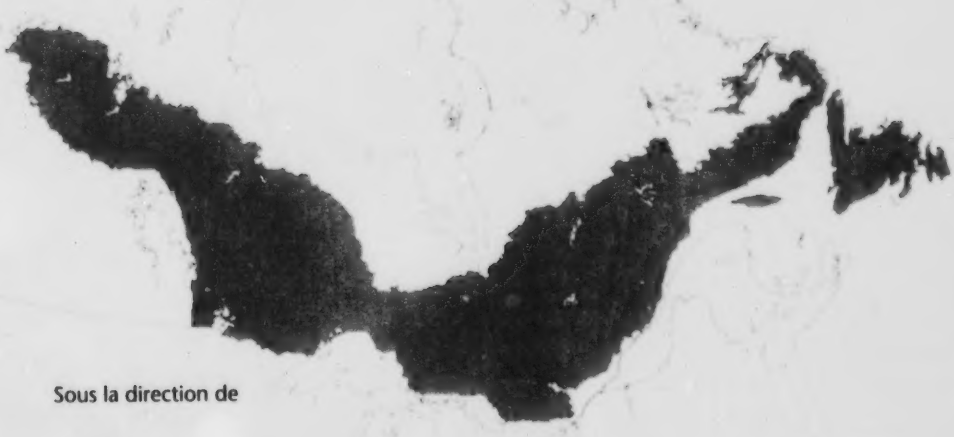
L'ÉCOZONE DU BOUCLIER BORÉAL

Environnement Canada Environment Canada

Canada

102-04162/

Évaluation Écologique de L'ÉCOZONE DU BOUCLIER BORÉAL



Sous la direction de

Natty Urquizo
Rainmakers Environmental Group

Jamie Bastedo
Cygnus Environmental Consulting

Tom Brydges
autrefois du Bureau de coordination du RESE
Environnement Canada

Harvey Shear
Région de l'Ontario
Environnement Canada

Données de catalogage avant publication (Canada)

Vedette principale au titre :
Évaluation écologique de l'écozone du bouclier boréal

Publ. aussi en anglais sous le titre : Ecological assessment of the boreal shield ecozone.
Comprend des références bibliographiques.
Publ. par le Bureau des indicateurs et de l'évaluation (Canada)
ISBN 0-662-84444-0
No de cat. En40-600/2000F

1. Environnement – Surveillance – Bouclier canadien.
2. Indicateurs écologiques – Bouclier canadien.
3. Écologie – Bouclier canadien.
4. Bouclier canadien – Aspect de l'environnement.
I. Urquizo, Natty.
II. Canada. Environnement Canada.
III. Bureau des indicateurs et de l'évaluation (Canada)

TD26.E32 2000 363.73'63'0971 C00-980111-1

Exemplaires disponibles gratuitement auprès de :
Bureau des indicateurs et de l'évaluation
Service de la conservation de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario) K1A 0H3

Pour de plus amples renseignements :
Téléphone : 1-800-668-6767
Courrier électronique : enviroinfo@ec.gc.ca

Ce document est aussi disponible sur l'internet à la Base d'informations sur l'état de l'environnement canadien : www1.ec.gc.ca/~soer/index_f.html

©Ministre des Travaux publics et des Services gouvernementaux du Canada, 2000

Table des matières

Avant-propos ix
Faits saillants xi
1. Introduction 1
1.1 Objet de l'évaluation 1
1.2 Une écozone agressée 1
1.3 Rôle de la surveillance environnementale 2
2. L'écozone du Bouclier boréal 5
2.1 Cadre écologique 5
2.1.1 Climat 5
2.1.2 Géologie et sols 5
2.1.3 Végétation 6
2.1.4 Ressources en eau 6
2.1.5 Faune 7
2.2 Cadre socioéconomique 7
2.2.1 Population 7
2.2.2 Population active et emploi 8
2.2.3 Utilisation des terres 10
3. Facteurs internes d'agression environnementale 13
3.1 Forêts 13
3.1.1 Utilisation des ressources forestières 13
3.1.2 Influence des méthodes de récolte et de renouvellement sur les écosystèmes forestiers 14
3.1.3 Aménagement forestier 16
3.2 Exploitation minière 19
3.2.1 Utilisation des ressources minérales 19
3.2.2 Impacts de l'exploitation minière 19
3.2.3 Gestion des mines 21
3.3 Hydroélectricité 23
3.3.1 Utilisation des ressources hydroélectriques 23
3.3.2 Impacts de l'aménagement hydroélectrique 23

3.3.3 Aménagement hydroélectrique 26
3.4 Autres utilisations du territoire 27
3.4.1 Exploitation des tourbières 27
3.4.2 Construction de chalets 28
3.4.3 Aires protégées 29
4. Facteurs externes d'agression environnementale 31
4.1 Changement climatique 31
4.2 Précipitations acides 34
4.3 Rayonnement ultraviolet B 42
4.4 Transport à grande distance des polluants 44
5. Indicateurs de changements choisis 45
5.1 Incendies de forêt 45
5.2 Insectes 47
5.3 Mercure 49
5.4 Espèces exotiques 51
5.5 Mammifères et oiseaux 52
5.6 Plantes et lichens 54
5.7 Sécheresse et bris et déracinement par le vent 54
5.8 Grenouille léopard 55
6. Pronostic de l'état de l'écozone 57
7. Conclusion 59
Bibliographie 61
Annexe 1. Priorités en matière de surveillance des effets des retombées acides sur l'environnement 73
Annexe 2. Noms vernaculaire et scientifique d'espèces choisies mentionées dans le rapport 75
Annexe 3. Unités de mesure utilisés dans le rapport 77

Liste des tableaux

Tableau 1. Importance économique de l'écozone du Bouclier boréal 9
Tableau 2. Tendances des émissions de dioxyde de soufre de certaines fonderies 20
Tableau 3. Espèces caractéristiques de l'écozone du Bouclier boréal menacées ou en danger de disparition 53

Liste des figures

Figure 1. Carte de l'écozone du Bouclier boréal montrant les sites du Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques (RESE) 2
Figure 2. Composition de la population active dans l'écozone du Bouclier boréal 10
Figure 3. Régions minérales de l'écozone du Bouclier boréal, 1990 21
Figure 4. Superficie du secteur forestier protégé dans l'écozone du Bouclier boréal, 1970–1995 29
Figure 5. Durée annuelle de la couverture de glace, lac 239, région des lacs expérimentaux de l'Ontario, 1969–1970 à 1995–1996 33
Figure 6. Réduction des débits dans la région des lacs expérimentaux du nord-ouest de l'Ontario 33
Figure 7. Relation entre le nombre d'espèces de poissons et le pH dans 118 lacs des régions de l'Outaouais et de l'Abitibi (Québec) 35
Figure 8. Fluctuations temporelles des concentrations moyennes annuelles de carbone organique dissous (COD) dans trois lacs de la région des lacs expérimentaux de l'Ontario 36
Figure 9. Dépassements moyens des dépôts humides de sulfates (en kg/ha/an), pour les périodes 1980–1984 et 1991–1995 38
Figure 10. Rejets de sulfates et de calcium — données brutes (ligne pointillée) et moyennes annuelles (lignes continues) 39
Figure 11. Fluctuations temporelles de l'alcalinité et des concentrations de calcium, de magnésium et de sulfates dans le parc national Pukaskwa (Ontario), 1987–1995. 40
Figure 12. Effets physiques et chimiques conjugués des retombées acides, du réchauffement climatique et de l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique 43
Figure 13. Superficie brûlée annuellement dans l'écozone du Bouclier boréal, 1930–1992 46
Figure 14. Dommages causés aux forêts du Bouclier boréal par la tordeuse des bourgeons de l'épinette et la livrée des forêts de 1980–1996 48

Liste des encadrés

Encadré 1 : Initiatives stratégiques canadiennes et internationales en matière d'aménagement des forêts 19
Encadré 2 : Lacunes dans la réglementation et les politiques qui nuisent à la réduction des impacts de l'exploitation minière 22

Collaborateurs

Allan, Rod J., Institut national de recherche sur les eaux, Centre canadien des eaux intérieures, Environnement Canada, Burlington (Ontario)

Bastedo, Jamie, Cygnus Environmental Consulting, Yellowknife (T. N.-O.)

Brydges, Tom, autrefois du Bureau de coordination du RESE, Environnement Canada, Burlington (Ontario)

Hall, Peter, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)

Hendrickson, Ole, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)

Hopkin, Anthony, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Sault Ste. Marie (Ontario)

Rubec, Clayton, Service canadien de la faune, Environnement Canada, Ottawa (Ontario)

Shearer, John, Observatoire de la région des lacs expérimentaux, Pêches et Océans Canada, Winnipeg (Manitoba)

Stocks, Brian J., Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Sault Ste. Marie (Ontario)

Urquizo, Natty, Rainmakers Environmental Group, Niagara-on-the-Lake (Ontario)

Waite, Don, Région des Prairies et du Nord, Environnement Canada, Regina (Saskatchewan)

Wood, John A., Division des recherches écologiques, Région des Prairies et du Nord, Environnement Canada, Regina (Saskatchewan)

Réviseurs

Bergeron, Yves, Coopérative des sciences écologiques du Bouclier boréal (Québec), lac Duparquet (Québec)

Cole, Bill, Gouvernement de l'Ontario, Coopérative des sciences écologiques du Bouclier boréal (Ontario), lac Swan (Ontario)

DeKimpe, Christian, Ressources naturelles, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario)

Dillon, Peter, ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario, Centre de recherche environnementale de Dorset, Dorset (Ontario)

Eros, Susan, Conservation des ressources, Direction de la conservation de l'environnement, Région des Prairies et du Nord, Environnement Canada, Edmonton

Evans, Doug, Environmental and Resources Studies, Trent University, Peterborough (Ontario)

Gagnon, Réjean, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi (Québec)

Gunn, John, Unité conjointe — écologie de l'eau douce, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Département de biologie, Université Laurentienne, Sudbury (Ontario)

Hirvonen, Harry, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)

Ironside, Gary, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada, Ottawa (Ontario)

Jeffries, Dean, Incidences de la contamination de l'atmosphère, Environnement Canada, Burlington (Ontario)

Johnston, Vicky, Service canadien de la faune, Environnement Canada, Yellowknife (T. N.-O.)

Kronberg, Barbara, Lakehead University, Thunder Bay (Ontario)

Langford, Lynda, Gestionnaire des projets spéciaux en gestion des écosystèmes, ministère de l'Environnement et de la Gestion des ressources de la Saskatchewan, Regina (Saskatchewan)

LeHénaff, Annick, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada, Ottawa (Ontario)

Maarouf, Abdel, Direction générale de la recherche atmosphérique et climatologique, Environnement Canada, Downsview (Ontario)

McAfee, Brenda, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)

Piche, E., Direction de la surveillance et du compte rendu environnementaux, ministère de l'Environnement de l'Ontario, Toronto (Ontario)

Pinel-Alloul, Bernadette, Université de Montréal, Montréal (Québec)

Quaile, Geoffrey, Conseiller en environnement, Grand conseil des Cris d'Eeyou Istchee (Québec)

Savard, Sylvain, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)

Savidge, Rodney A., Faculté de foresterie et de gestion de l'environnement, Université du Nouveau-Brunswick, Fredericton (Nouveau-Brunswick)

Schindler, David, University of Alberta, Edmonton (Alberta)

Snucins, Ed, Unité conjointe — écologie de l'eau douce, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Département de biologie, Université Laurentienne, Sudbury (Ontario)

Streich, Laurie, Environnement Manitoba, Winnipeg (Manitoba)

Van dijk, Albert, parc national de La Mauricie, Agence Parcs Canada, Patrimoine canadien, St-Mathieu-du-Parc (Québec)

Production

Bruyère, Hélène, Les Entreprises Hélène Bruyère, Gatineau (Québec) : correction d'épreuve et révision

Crocodile Communications Inc., Ottawa (Ontario) : Services de conception et de mise en page électronique

Duggan, Doug, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada ,Ottawa (Ontario) : préparation de la plupart des figures

Ironside, Gary, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) : coordination de la rédaction finale et de la production

Sheffer, Marla, Révision scientifique, Orléans (Ontario) : correction d'épreuve et révision

Avant-propos

Au Canada, l'environnement, source d'un riche capital-nature, est agressé. Certains des facteurs d'agression de notre patrimoine naturel sont qualifiés d'internes, étant causés par l'exploitation forestière et minière, l'agriculture, la production d'hydroélectricité, la construction routière et d'autres activités qui se déroulent dans l'écozone même. D'autres sont dits externes, car ils proviennent de l'extérieur de l'écozone, souvent de très loin; mentionnons le changement climatique, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, les dépôts acides et le transport à grande distance des polluants atmosphériques.

Certaines de ces agressions, comme la récolte des ressources forestières, provoquent des changements évidents et immédiats, tandis que d'autres, comme l'évolution de l'atmosphère, peuvent induire des réactions subtiles et à long terme au sein de l'écosystème. Il faut donc effectuer des études multidisciplinaires pluriannuelles, s'appuyant sur la recherche et des expériences, afin de définir les réactions de l'écosystème à ces agressions et d'élaborer des programmes de protection de l'environnement et des politiques de gestion des ressources appropriés.

Il est impératif que la communauté scientifique se mobilise pour comprendre les changements environnementaux et en rendre compte de manière à améliorer la prise de décisions. C'est là l'une des principales missions du Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques ou RESE. Le Bureau de coordination du RESE d'Environnement Canada, à Burlington (Ontario), gère les activités du RESE. Par le biais d'ateliers et de réunions nationales, il promeut le maillage des études écologiques à travers le Canada. Le répertoriage des sites du réseau, la description des études scientifiques qui y sont menées, l'établissement d'un répertoire de chercheurs et la compilation de bibliographies et d'ensembles de données figurent parmi les nombreux moyens qu'il utilise pour tisser des liens avec le monde plus vaste où se prennent les décisions en matière d'utilisation des terres et de l'eau.

Toutefois, le rythme et l'ampleur des actuels changements environnementaux exigent que nous en fassions beaucoup plus. Ces aspects organisationnels ne suffisent pas à rendre le RESE aussi utile et aussi efficace qu'il le faudrait pour rendre compte des préoccupations écologiques. Ces projets ont certes été très fructueux, mais ils n'ont pas encore permis de trouver des solutions définitives aux

multiples facteurs d'agression à l'origine des changements rapides de l'environnement au Canada. En 1997, nous avons lancé un projet pilote pour raffiner les concepts et les objectifs du RESE. Dans le cadre de ce projet, nous avons fourni des données provenant de plusieurs sites du RESE afin de produire un rapport d'évaluation multidisciplinaire. Nous avons établi que l'étendue géographique de ce projet correspondrait à l'une des 15 écozones terrestres du Canada, soit l'écozone du Bouclier boréal qui revêt une grande importance économique pour le Canada et qui est agressée par tous les principaux facteurs mentionnés ci-haut. Cette écozone compte 22 sites du RESE dont certains disposent des plus anciens ensembles de données de surveillance multidisciplinaire au Canada.

Le Bouclier boréal donne également l'occasion d'étudier un certain nombre de facteurs d'agression en comparant les résultats obtenus dans différents sites. Ainsi, les pluies acides affectent la partie centrale de cette écozone, mais elles ont peu d'effets sur les secteurs de l'extrême-est et de l'extrême-ouest, tandis que l'intensification du rayonnement ultraviolet B et des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone est peut-être plus uniforme dans toute l'écozone. De même, la température annuelle moyenne de l'air est à la hausse dans l'ouest et légèrement à la baisse dans l'est.

Puisqu'il s'agit d'un projet pilote, le présent rapport n'est peut-être pas aussi complet et détaillé que possible, mais, grâce à l'appui enthousiaste de nombreux scientifiques, nous avons réuni une quantité considérable de renseignements sur les multiples facteurs d'agression qui affectent maintenant l'écozone du Bouclier boréal.

Faits saillants

« Quand on considère les effets combinés du réchauffement climatique, des retombées acides, de l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique et des autres activités humaines, le paysage boréal est peut-être l'une des écorégions du globe qui connaîtra le plus de changements au cours des prochaines décennies. Nos descendants connaîtront certainement un paysage boréal très différent de celui qui existe aujourd'hui. »

— D.W. Schindler, 1998 [traduction]

Le Bouclier boréal est la plus vaste écozone du Canada. Il couvre pratiquement 20 % des terres émergées du pays et compte 43 % des forêts d'intérêt commercial et 22 % des eaux douces. L'écozone du Bouclier boréal a un produit intérieur brut de presque 50 milliards de dollars. Au nombre des principaux secteurs économiques figurent la production d'hydroélectricité (16 milliards de dollars), les mines (6 milliards de dollars) et les forêts (5,85 milliards de dollars provenant du secteur des pâtes et papiers). Trois millions de personnes habitent cette écozone qui fournit 15 % des emplois axés sur les ressources naturelles du Canada.

La présente évaluation décrit les facteurs d'agression environnementale dans l'écozone du Bouclier boréal et met en relief les tendances actuelles à cet égard, fournit une orientation pour renforcer les programmes nationaux visant à régler des problèmes environnementaux et à élaborer des stratégies de restauration et de prévention et insiste, en dernier lieu, sur l'importance des liens entre la science et la politique.

Changements dans l'écosystème — liens avec les facteurs internes d'agression

Exploitation forestière

- La plupart des indicateurs font ressortir une augmentation nette du volume de bois récolté dans le Bouclier boréal au cours des dernières années. Pendant les années 1990, on a assisté à une rapide expansion des activités du secteur forestier vers le Nord.

- La coupe à blanc est la méthode utilisée pour exploiter 90 % des 400 000 hectares récoltés chaque année dans le Bouclier boréal. Les impacts environnementaux probables de cette pratique sont bien documentés et comprennent notamment :
  - la réduction de la biodiversité
  - la perte ou la dégradation de l'habitat faunique
  - la modification des sols
  - la réduction de la qualité de l'eau.
- Le resserrement de la réglementation gouvernementale et les progrès technologiques ont certes minimisé les rejets de mercure, de dioxines, de furannes et d'autres substances organochlorées par les usines de pâtes et papiers, mais le dysfonctionnement des enzymes hépatiques chez le poisson causé par les effluents des fabriques soulève toujours des inquiétudes. De plus, de nombreuses usines de pâtes continuent de rejeter de grandes quantités de matière organique dissoute, comme des tannins et d'autres substances humiques très colorées.

Exploitation minière

- L'écozone du Bouclier boréal fournit 75 % du fer, du nickel, du cuivre, de l'or et de l'argent du Canada.
- Le nord de la Saskatchewan est la principale région productrice d'uranium dans le monde, avec 34 % de la production mondiale. Trois nouveaux projets de mines d'uranium sont en cours et un quatrième est prévu pour le début du XXI^{e} siècle.
- Dans l'écozone du Bouclier boréal, l'exploitation minière influe surtout sur la biodiversité aquatique en raison du rejet des effluents miniers dans l'eau. Les problèmes environnementaux associés aux mines abandonnées représentent aussi un risque majeur à long terme pour la santé générale de l'écozone.

Hydroélectricité

- Le Canada est le premier producteur mondial d'hydroélectricité, avec environ 15 % de la production totale. Les cours d'eau qui prennent naissance ou qui coulent dans le Bouclier boréal représentent 39 % du potentiel hydroélectrique du pays.
- L'aménagement hydroélectrique a modifié 85 % des bassins versants situés en tout ou en partie dans le Bouclier boréal – 77 % d'entre eux renferment de grands barrages et 25 %, de grands réservoirs. Les transferts d'eau ont augmenté ou réduit le débit des cours d'eau dans 33 % d'entre eux.
- Au nombre des impacts de l'aménagement hydroélectrique figurent :
  - la perte d'habitats terrestres provoquée par la construction de barrages et de bassins de retenue
  - l'érosion des berges
  - les perturbations de la faune et de l'habitat associées aux corridors des lignes de transport
  - la modification de la concurrence et de la prédation dans le milieu aquatique en raison de l'accroissement du volume d'eau
  - l'augmentation de la turbidité

- le rejet de mercure par la matière organique submergée dans les réservoirs
- le rejet de dioxyde de carbone et de méthane dû à l'inondation de vastes territoires.

- L'entretien à long terme et la remise en état des barrages vieillissants constituent des préoccupations environnementales nouvelles qui n'ont pas encore fait l'objet d'un examen scientifique ou politique adéquat par les gouvernements provinciaux.
- Les projets d'aménagement hydroélectrique ont particulièrement affecté le mode de vie traditionnel des peuples autochtones de l'écozone, qui vivent, chassent et se déplacent le long des cours d'eau et des lacs.

Autres utilisations du territoire

- La construction de nombreux chalets en bordure des lacs du Bouclier boréal préoccupe beaucoup le public qui s'inquiète de l'eutrophisation des lacs à vocation récréative. Une autre source d'inquiétude est l'élimination de la végétation riveraine par les propriétaires de chalets, laquelle entraîne la diminution des populations locales de macrophytes et perturbe la chaîne trophique du milieu aquatique.
- Bien que l'écozone du Bouclier boréal soit la plus vaste des 15 écozones terrestres du Canada, la proportion des aires protégées soustraites à toute forme d'activité industrielle est très faible, soit moins de 3 % du territoire.

Changements écosystémiques — liens avec les facteurs externes d'agression

Changement climatique

- Les modèles atmosphériques révèlent que les forêts et les milieux humides du Bouclier boréal risquent d'être très durement touchés par les effets du réchauffement de la planète. Même un faible réchauffement pourrait entraîner une intensification marquée de l'activité biologique, en particulier de la croissance des plantes et de la décomposition de la litière.
- Des changements ont été observés dans des lacs et des cours d'eau du Bouclier boréal en réponse au changement climatique. Dans la région des lacs expérimentaux de l'Ontario, la température moyenne annuelle de l'air a augmenté de 1,6 °C et le volume des précipitations a diminué d'environ 40 % entre 1970 et 1990. Ces changements ont entraîné les effets suivants :
  - réduction de la durée de la couverture de glace dans les lacs;
  - augmentation de près de 50 % de l'évapotranspiration;
  - diminution des concentrations de carbone organique dissous (COD) et de phosphore dans les lacs;
  - augmentation de la transparence de l'eau et, par voie de conséquence, pénétration accrue du rayonnement UVB dans les plans d'eau;
  - réduction de l'abondance du phytoplancton dans les lacs ayant subi un appauvrissement en phosphore.
- Le changement climatique agit sur le cycle de vie, le comportement et la répartition de nombreuses espèces d'insectes du Bouclier boréal.

- La contribution des forêts du Bouclier boréal au bilan du carbone planétaire est importante. La série de perturbations majeures qui ont touché les forêts du Bouclier boréal au cours des vingt dernières années et le réchauffement des températures ont entraîné une perte nette de carbone des forêts vers l'atmosphère.

Précipitations acides

- Les précipitations acides ont provoqué la disparition d'un grand nombre de populations de poissons et d'invertébrés dans l'écozone du Bouclier boréal. Du fait de leur faible pouvoir tampon, les lacs de la moitié est de l'écozone du Bouclier boréal sont particulièrement sensibles à l'acidification.
- L'acidification des lacs est associée à l'élévation des concentrations de mercure, de cadmium et de plomb dans le poisson et peut entraîner une perte de COD dans les eaux de surface.
- Le rôle des dépôts acides dans le déclin des écosystèmes forestiers boréaux a été largement étudié. Les problèmes suivants figurent au nombre des effets les mieux connus des retombées acides :
    - réduction nette de l'activité photosynthétique et de l'absorption des éléments nutritifs;
    - inhibition de la germination;
    - réduction de la résistance au gel;
    - dommages à la cuticule protectrice des feuilles et des aiguilles;
    - réduction de la capacité des forêts de résister à l'action d'autres facteurs d'agression comme le réchauffement climatique, la sécheresse, les infestations d'insectes et les maladies.
- Alors que les dépôts de sulfate ont diminué de façon significative dans les régions du Bouclier boréal entre 1980 et 1993, les dépôts de nitrates atmosphériques sont demeurés constants ou ont même légèrement augmenté durant cette même période.
- Le rétablissement des lacs par suite de la réduction des retombées acides s'est manifesté lentement et de façon inégale. Parmi 152 lacs acidifiés étudiés entre 1981 et 1997 à Terre-Neuve, au Québec, en Nouvelle-Écosse et en Ontario, seulement 41 % sont devenus moins acides, 50 % ont conservé le même pH et 9 % sont devenus plus acides.

Rayonnement ultraviolet B (UVB)

- On sait très peu de choses sur les tendances liées au rayonnement UVB à l'échelle du Bouclier boréal, car les recherches sur ce facteur d'agression ne font que débuter. Toutefois, des mesures spectrales du rayonnement UVB prises entre 1989 et 1993 à Toronto (Ontario), juste au sud du Bouclier boréal, indiquent que l'intensité lumineuse à des longueurs d'onde avoisinant 300 nm s'est accrue de 35 % par année en hiver et de 7 % par année en été. À des longueurs d'onde variant entre 320 et 325 nm, la situation est demeurée pratiquement stable.
- Réduction de la vigueur et de l'activité photosynthétique, échaudage et sénescence précoce des aiguilles sont au nombre des multiples symptômes observés chez les conifères par suite de l'augmentation du rayonnement UVB.

- La faune invertébrée des cours d'eau semble particulièrement sensible au rayonnement UVB. Même les organismes vivant en eau profonde ou au fond de l'eau peuvent également subir les effets nocifs de la hausse du rayonnement UVB lorsqu'ils s'aventurent près de la surface.

Transport à grande distance des polluants

- Des quantités importantes de pesticides organochlorés se déposent dans les lacs du Bouclier boréal sous l'effet du transport à grande distance. Ces quantités ne causent pas d'effets toxiques aigus, mais on ignore leurs effets chroniques. Les études portent à croire que les polluants organiques persistants s'accumulent dans certains tissus des invertébrés, poissons et vertébrés supérieurs de la région du Bouclier boréal et risquent d'entraîner à plus long terme le déclin des populations exposées et de perturber le fonctionnement des écosystèmes.

Indicateurs de changement dans l'écosystème

Perturbations

Incendies de forêt

- Le feu est un facteur de perturbation naturelle qui joue un rôle très important à l'échelle du Bouclier boréal. Le succès de la régénération de la plupart des espèces d'arbres qui y vivent est en général étroitement lié à la présence du feu.
- La superficie brûlée chaque année varie entre 0,7 et 7,0 millions d'hectares, la moyenne étant de 2,9 millions d'hectares. Les feux ravagent de plus vastes territoires et surviennent plus fréquemment dans cette écozone que dans toute autre région forestière du Canada. Les données disponibles révèlent que tant la superficie brûlée que la fréquence des incendies ont augmenté au cours des dernières années.
- Compte tenu des tendances climatiques actuelles, on peut s'attendre à ce que les régions forestières situées dans la partie nord du Bouclier boréal soient ravagées par de gros incendies. Ce phénomène risque d'avoir des répercussions peu souhaitables sur la composition et la structure par âge des forêts et sur le bilan mondial du carbone.

Insectes

- De façon générale, la durée et l'étendue des infestations d'insectes ont augmenté au cours des 25 dernières années. Cette tendance pourrait être imputable à l'intensification de l'exploitation forestière et des mesures de lutte contre les incendies. Le volume de bois détruit par les insectes équivaut à 1,5 fois celui consumé par le feu et au tiers du volume exploité annuellement.
- Durant l'infestation qui a sévi de 1966 à 1996, la tordeuse des bourgeons de l'épinette a causé la mort de sapins baumiers et d'épinettes blanches sur 8,3 millions d'hectares en Ontario. La majeure partie du territoire touché se trouvait dans l'écozone du Bouclier boréal.
- La tordeuse du pin gris a étendu son aire de répartition vers l'est au cours des trente dernières années. Des infestations couvrant de vastes territoires ont été signalées dans le centre et l'est de l'Ontario.

- La livrée des forêts, considérée comme le plus important défoliateur de feuillus dans l'écozone du Bouclier boréal, a récemment défolié des bétulaies et des peupleraies sur une superficie de 9,5 millions d'hectares en Ontario.

Contaminants

- En de nombreux endroits de l'Ontario et du Manitoba, des concentrations dangereusement élevées de mercure ont été détectées dans les tissus de nombreuses espèces de poissons. Des avis visant à informer le public des quantités de poisson pouvant être consommées sans danger par les êtres humains ont été émis.
- La contamination par le mercure représente une source de préoccupation particulière pour les Autochtones vivant dans l'écozone.

Biodiversité

- La propagation d'insectes exotiques susceptibles de causer des dommages aux espèces d'arbres indigènes inquiète de plus en plus les gestionnaires forestiers de l'écozone du Bouclier boréal.
  - Depuis son introduction accidentelle à Terre-Neuve au cours des années 1920 ou 1930, le puceron lanigère du sapin, un ravageur, y a causé de graves dommages dans les sapinières baumières.
  - La rouille vésiculeuse du pin blanc, maladie propagée par un champignon introduit, cause également des dommages importants aux arbres du Bouclier boréal, en particulier dans les secteurs les plus méridionaux de l'écozone.
  - Au Manitoba, en Ontario et au Québec, la salicaire pourpre, une plante à fleurs, représente une source majeure de préoccupation parce qu'elle obstrue les cours d'eau et livre une compétition très agressive à la quenouille et à d'autres plantes aquatiques importantes pour les espèces sauvages.
- La plupart des populations de grands mammifères habitant l'écozone du Bouclier boréal semblent être stables ou en hausse.
- Treize espèces de plantes ou d'animaux présentes dans l'écozone du Bouclier boréal sont considérées comme étant en péril par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada.
- L'érioderme pédicellé, une espèce de lichen considérée comme rare partout dans le monde, se rencontre à Terre-Neuve dans les forêts mûres encore non exploitées. En plus d'être vulnérable aux effets de l'exploitation forestière, elle est très sensible à la pollution atmosphérique.
- Les effectifs de la grenouille léopard ont décliné de manière significative au cours des 20 dernières années. Un inventaire mené à l'échelle de l'écozone dans près de 100 milieux humides a révélé que la grenouille léopard est disparue depuis un secteur situé au nord de Sault Ste. Marie jusqu'à Nipigon.

Orientations futures

Gestion des ressources

- Mise en œuvre au printemps 1998, la Stratégie nationale sur les forêts fournit un cadre qui orientera au cours des quelques années à venir l'élaboration des politiques et des
- La gestion des mines sera améliorée grâce à l'élaboration et à la mise en oeuvre d'une structure nationale de coopération pour la protection de l'environnement, qui devrait comprendre un règlement fédéral révisé sur les effluents, des exigences propres au site et le suivi des effets sur l'environnement pour renseigner sur l'efficacité des mesures de protection de l'environnement.

  les écosystèmes aquatiques menée en 1996 par le gouvernement fédéral permettra d'éliminer 99 % des métaux potentiellement dangereux dans les effluents miniers.
- Tous les services hydroélectriques provinciaux et les gouvernements doivent faire de la surveillance des écosystèmes, des évaluations a posteriori et de la recherche fondamentale des priorités absolues afin d'être en mesure de répondre aux nombreuses questions environnementales soulevées par la mise en œuvre de projets hydroélectriques de grande envergure à l'échelle du Bouclier boréal.
- Réalisant que la coordination de la gestion des terres humides constitue une priorité pour un nombre sans cesse croissant de Canadiens, le Cabinet fédéral a adopté officiellement la Politique fédérale sur la conservation des terres humides en décembre 1991. Cette politique est assortie depuis 1996 d'une série de lignes directrices à l'intention des gestionnaires des terres fédérales. Les provinces ont également adopté des politiques en vue d'assurer la protection des milieux humides.
- D'autres études sont nécessaires afin de mieux saisir l'ampleur réelle des répercussions environnementales des activités récréatives et du tourisme à l'échelle du Bouclier boréal. L'Ontario a récemment modifié ses systèmes de planification et ses politiques de manière à resserrer les mécanismes d'évaluation environnementale et de lutte contre la pollution dans les secteurs de villégiature.
- Bien que la nécessité de parachever l'aménagement de réseaux d'aires protégées dans le Bouclier boréal soit largement reconnue, les pressions accrues exercées par l'exploitation des ressources freinent les progrès en ce sens. Il est essentiel d'intégrer le réseau élargi d'aires protégées aux pratiques de gestion des terres respectueuses de l'environnement afin de préserver la biodiversité dans toute l'écozone.

Surveillance environnementale

- La mise en œuvre de programmes de surveillance environnementale à l'échelle du Bouclier boréal a permis de recueillir des données fort utiles sur l'acidification des écosystèmes terrestres et aquatiques, la complexité des interactions entre ces écosystèmes et la dynamique de leur rétablissement. Pour être en mesure d'évaluer l'efficacité des mesures réglementaires et de répondre aux nombreuses questions soulevées par les recherches en cours, il est impératif de continuer d'exercer une telle surveillance.
- De tous les facteurs d'agression qui agissent sur le Bouclier boréal, le rayonnement UVB est l'un de ceux dont les effets sont les plus complexes et les moins bien compris. La surveillance continue de l'ozone stratosphérique et du rayonnement UVB incident

et des effets de ce facteur d'agression sur les écosystèmes du Bouclier boréal permettra aux chercheurs et aux décideurs d'en apprécier la pleine ampleur et de prendre les mesures qui s'imposent.

- Compte tenu des nombreuses interrogations et des inquiétudes sans cesse croissantes suscitées à l'échelle internationale par le transport des polluants organiques persistants et des métaux lourds sur de grandes distances, il apparaît crucial d'intensifier la surveillance des contaminants atmosphériques.
- La surveillance de nombreux indicateurs de l'état des écosystèmes (p. ex. gravité et étendue des pullulations d'insectes, concentrations de mercure, effectifs de la grenouille léopard) joue un rôle essentiel dans l'évaluation de l'état des écosystèmes du Bouclier boréal.

1 Introduction

1.1 Objet de l'évaluation

Cette évaluation vise à fournir une vue d'ensemble des grands changements écologiques qui se produisent actuellement dans l'écozone du Bouclier boréal, source de grandes richesses naturelles. Quelle est la nature et la cause de ces changements? Pourquoi ont-ils de l'importance pour les Canadiens? Comment l'industrie, les gestionnaires des ressources et les décideurs réagissent-ils à ces changements? Voilà le genre de questions posées dans ce rapport.

Pour y répondre, les auteurs se sont fixé trois grands objectifs :

1. fournir les connaissances scientifiques les plus à jour sur les questions et les tendances liées aux ressources naturelles dans l'écozone du Bouclier boréal;
2. sensibiliser les Canadiens à l'état de l'écozone du Bouclier boréal de manière à ce qu'ils puissent participer à la prise de décisions respectueuses de l'environnement influant sur l'avenir de l'écozone;
3. démontrer l'importance d'un réseau de surveillance et de recherche multidisciplinaire à long terme pour la promotion d'améliorations scientifiquement fondées au mode de gestion des ressources naturelles des Canadiens.

1.2 Une écozone agressée

L'une des grandes lois de l'écologie stipule que tous les éléments du milieu sont en perpétuelle évolution. Dans la nature, les transferts ou flux sont la règle, et l'écozone du Bouclier boréal n'y fait pas exception. Des changements ont été observés dans presque chaque composante de l'écosystème. Ils peuvent être évidents, comme l'augmentation du nombre de routes, de lignes de transport de l'électricité, de parterres de coupe à blanc et de feux de forêt, ou subtils, comme l'accroissement des précipitations acides et du rayonnement ultraviolet B (UVB) et la réduction de la biodiversité. Ces changements sont soit d'origine naturelle et anthropique, soit causés uniquement par l'activité humaine.

Tous les changements ne sont pas nécessairement négatifs. Ainsi, la plupart des populations de grands mammifères semblent être stables ou en hausse. Néanmoins, si nous considérons les perspectives écologiques et économiques à long terme de cette vaste écozone d'importance économique, l'effet net est une détérioration des conditions. Le présent rapport d'évaluation vise à faire comprendre les multiples facteurs d'agression qui expliquent cette tendance et à tracer la voie pour renverser cette tendance.

1.3 Rôle de la surveillance environnementale

Les effets écologiques des agressions localisées à court terme sont bien documentés. Ainsi, la coupe à blanc d'une forêt peut réduire la diversité globale des espèces, provoquer l'envasement d'étendues d'eau, déclencher des pullulations d'insectes et causer l'érosion du sol. Une gestion adéquate peut atténuer tous ces impacts. Des agressions à long terme et à plus grande échelle, comme celles associées au changement climatique ou aux précipitations acides, peuvent être beaucoup plus difficiles à mesurer, et encore plus à juguler. Les études multidisciplinaires et pluriannuelles de surveillance de l'environnement sont parmi les meilleurs moyens de comprendre ces agressions à plus grande échelle et de trouver des solutions scientifiquement fondées pour les décideurs.

Les indicateurs environnementaux d'une agression constituent une composante importante de la surveillance à long terme. Ainsi, les dépôts de sulfates dans l'environnement sont un bon indicateur de l'ampleur relative des précipitations acides. Les indicateurs, fort utiles, sont faciles à surveiller, économiques à mesurer et profitables à un grand nombre de disciplines scientifiques. Ils font l'objet

Figure 1. Carte de l'écozone du Bouclier boréal montrant les sites du Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques (RESE)

Source : Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada

d'un suivi annuel dans 22 sites du Bouclier boréal (1 au Manitoba, 9 en Ontario, 10 au Québec et 2 à Terre-Neuve) qui sont reliés grâce au Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques (RESE) (figure 1). Le présent rapport s'inspire largement des résultats des études de surveillance à long terme entreprises dans nombre de ces sites.

Or, les résultats de ces études ne sont guère encourageants. En outre, les pressions sans cesse croissantes exercées sur les ressources naturelles, l'aggravation de la pollution et du changement climatique attribuable à des sources lointaines et le lent rétablissement de l'environnement donnent à croire que la situation continuera de s'empirer avant de s'améliorer dans l'écozone du Bouclier boréal. Cependant, les secteurs public et privé ont déjà lancé nombre d'initiatives prometteuses pour lutter contre la détérioration de l'environnement. Conformément à l'adage qui dit que « de solides fondements scientifiques sont gage de décisions éclairées », un engagement ferme à l'égard des programmes de suivi à long terme de l'environnement, comme le RESE, sera l'un des meilleurs moyens d'appuyer les initiatives existantes et futures.

2 L'Écozone du Bouclier boréal

2.1 Cadre écologique

L'écozone du Bouclier boréal s'étend sur 3 800 km, depuis la pointe est de Terre-Neuve jusqu'à l'extrémité nord-est de l'Alberta, ce qui en fait la plus vaste des 15 écozones terrestres du Canada. La rencontre du Bouclier canadien et de la forêt boréale définit les limites géographiques de ce paysage constitué de forêts de résineux et de roches granitiques. L'écozone chevauche certaines parties de six provinces et couvre plus de 1,8 million de kilomètres carrés, soit pratiquement 20 % des terres émergées du pays. Les lacs et les cours d'eau qu'elle renferme représentent 22 % des eaux douces au Canada (Gouvernement du Canada, 1996). L'écozone présente une grande diversité écologique et subit l'influence d'un climat tantôt côtier, tantôt continental. La longueur de la saison de croissance y est très variable et le climat, les sols et les groupements végétaux présentent des variations régionales. Malgré cette diversité, les caractéristiques du Bouclier boréal sont assez homogènes dans toute l'écozone.

2.1.1 Climat

Le climat de l'écozone est généralement de type continental, avec des hivers longs et froids et des étés courts et chauds. Sous l'effet des masses d'air humide qui arrivent de la baie d'Hudson, les précipitations sont relativement élevées dans la majeure partie de la région, variant de 400 mm dans l'ouest à 1 000 mm dans l'est. La température moyenne est de -15°C en janvier et de 17°C en juillet. Les régions bordant les Grands Lacs et l'océan Atlantique ont tendance à être plus chaudes en hiver et plus fraîches en été en raison de l'effet modérateur de ces grandes masses d'eau. Le nombre annuel moyen de jours sans gel oscille entre 60 et 100, mais est inférieur à 40 dans certaines régions. Le potentiel agricole est donc limité, car les céréales et nombre d'autres cultures ont besoin d'au moins 100 jours sans gel, et les sols sont pauvres.

2.1.2 Géologie et sols

Une vaste plaine onduleuse reposant sur un substrat constitué de roches anciennes a possiblement succédé à un paysage jadis sillonné par de hautes chaînes de montagnes. L'assise rocheuse est composée en grande partie de gneiss, une roche métamorphique rubanée formée sous l'action de la pression et de la chaleur intenses dans l'écorce terrestre. Nombre des minéraux qui contribuent

à l'économie du Bouclier boréal se sont probablement formés durant ces temps géologiques de grands bouleversements survenus il y a plus de deux milliards d'années.

Durant le dernier âge glaciaire, qui a pris fin il y a 10 000 ans, les glaciers en progression ont décapé à maintes reprises l'écozone du Bouclier boréal. Pendant leur retrait, une grande partie du terrain a été recouverte de moraines déposées par la fonte de la glace et les torrents fluvio-glaciaires. Les glaciers ont également beaucoup influé sur le type de sols qu'on y trouve aujourd'hui, ayant récuré presque tous les matériaux préglaciaires, souvent jusqu'à la roche en place. À l'heure actuelle, la plupart des sols sont non seulement assez minces, mais également très acides, pauvres en éléments nutritifs et frais. Les sols organiques sous-jacents aux vastes milieux humides de cette région sont peu propices à la croissance de la végétation, car ils sont pauvres en oxygène et sont détrempés. Même si toutes ces caractéristiques limitent énormément le potentiel agricole, les sols du Bouclier boréal sont généralement propices aux conifères, comme en témoignent les vastes forêts de résineux qui recouvrent la majeure partie de cette écozone.

2.1.3 Végétation

Des températures fraîches, une courte saison de croissance, de fréquents feux de forêt et des sols acides figurent parmi les conditions difficiles que doivent surmonter les végétaux de cette écozone. Malgré tout, presque 85 % de l'écozone est boisée et 70 % de cette superficie est considérée comme étant productive de bois marchand. La forêt est dominée par quelques essences hautement adaptables, comme l'épinette noire, l'épinette blanche, le pin gris et le sapin baumier. L'épinette noire, qui est la plus commune de toutes, fournit une pâte de bois de grande qualité et est donc une essence fort prisée de l'industrie papetière en plein essor au Canada.

Plus au sud, la proportion de feuillus, comme le bouleau à papier, le peuplier faux-tremble et le peuplier baumier, est plus élevée, tout comme celle d'autres conifères, comme le pin blanc, le pin rouge et le pin gris. Dans le sud-est, les essences typiques des climats plus tempérés sont courantes, notamment le bouleau jaune, l'érable à sucre, le frêne noir et le thuya occidental.

Partout dans le Bouclier boréal, ces forêts sont parsemées d'innombrables tourbières oligotrophes et minérotrophes, marais et autres milieux humides. Couvrant près de 20 % de l'écozone, ces milieux humides figurent parmi les écosystèmes les plus diversifiés et les plus productifs sur le plan biologique.

2.1.4 Ressources en eau

Le Bouclier boréal est réputé pour ses lacs bleutés aux rives rocheuses. L'intense activité glaciaire qui s'est déroulée dans presque toute la région a créé des milliers de plans inclinés, de dépressions et de sillons discontinus qui sont maintenant remplis d'eau. Un peu partout, le substrat rocheux cristallin — avec ses nombreuses failles, fissures, diaclases et fractures — détermine le régime d'écoulement des eaux que les hydrologues qualifient avec justesse de discontinu, de désorganisé, voire de disloqué.

Depuis l'arrivée des premiers humains dans l'écozone du Bouclier boréal, vers la fin de la dernière glaciation, le vaste réseau de lacs et de cours d'eau a fourni des voies de transport vitales, a donné lieu à une prospère industrie de la pêche et a constitué une source abondante d'animaux à fourrure

qui ont longtemps été au coeur de l'industrie du piégeage. Plus récemment, ces étendues d'eau ont pris une importance nouvelle du fait des activités de plein air et de l'aménagement hydroélectrique.

À l'est, les côtes rocheuses du golfe du Saint-Laurent et de Terre-Neuve sont le siège de réseaux trophiques marins diversifiés et offrent des aires de nidification à de nombreux oiseaux de mer qui tirent profit de cette riche vie marine.

2.1.5 Faune

Dans l'écozone du Bouclier boréal, le ruissellement printanier attire chaque année des centaines de milliers de canards, de huarts, d'oies, de bernaches et de cygnes. Ces oiseaux viennent s'y reproduire ou encore s'y reposer et s'y nourrir avant de poursuivre leur route vers leurs sites de nidification plus septentrionaux. Parmi les principales espèces d'oiseaux aquatiques qui y séjournent en été, mentionnons le petit garrot, le canard noir, le canard branchu, le morillon à collier, le canard colvert, le canard siffleur d'Amérique, la sarcelle à ailes bleues, le canard souchet et la bernache du Canada. La nyctale boréale, le grand duc d'Amérique, le gros bec errant, le geai bleu et le bruant à gorge blanche sont d'autres espèces représentatives.

Parmi les mammifères typiques de l'écozone figurent le caribou des bois, le cerf de Virginie, l'orignal, l'ours noir, le loup, le loup-cervier (lynx), le lièvre d'Amérique, le pékan, la martre et la moufette rayée. Les nombreux milieux humides, étangs, cours d'eau et lacs de l'écozone sont des habitats précieux pour les animaux à fourrure aux moeurs aquatiques comme le castor, le rat musqué et le vison.

Les mammifères marins typiques de l'Atlantique sont le phoque gris, le phoque du Groenland et le phoque à capuchon ainsi que la baleine franche, la baleine à bec commune, le cachalot macrocéphale, l'épaulard, le globicéphale noir de l'Atlantique, le rorqual commun et le rorqual bleu. La baleine boréale, une espèce en danger de disparition, et le rorqual à bosse, une espèce menacée, fréquentent tous les deux cette région. À l'intérieur des terres, le touladi, le grand corégone, le doré jaune, l'omble de fontaine et le grand brochet sont au nombre des espèces de poissons les plus répandues qui prospèrent dans les innombrables lacs et cours d'eau de l'écozone.

2.2 Cadre socioéconomique

Les vastes forêts, les riches gîtes minéraux, les innombrables lacs et les espèces fauniques de l'écozone du Bouclier boréal sont des éléments essentiels du capital-nature du Canada. Avec un produit intérieur brut de quelque 50 milliards de dollars, le Bouclier boréal vient au quatrième rang des 15 écozones terrestres du Canada. Malgré la grande étendue de cette écozone, le revenu total, qui se chiffre à 41,8 milliards de dollars, ne représente que 9 % de celui du Canada. Le revenu par habitant est aussi assez bas, soit 14 768 $ comparativement à 18 646 $ dans l'écozone maritime du Pacifique (Gouvernement du Canada, 1996).

2.2.1 Population

Dix pour cent de la population canadienne, soit trois millions de personnes, vit dans l'écozone du Bouclier boréal, surtout dans les centres urbains du sud et de l'est. La densité démographique globale y est très faible, soit environ 1,5 habitats par km^2. Près de 60 % de la population habite en milieu urbain et 40 %, en milieu rural.

La population vit surtout dans des agglomérations de 1 000 à 30 000 habitants. St. John's, à Terre-Neuve, est le plus grand centre urbain et comptait 175 000 habitants en 1997. En plus d'être relativement petites, les agglomérations affichent une faible croissance. Plusieurs villes monoindustrielles, comme Flin Flon, au Manitoba, et Schefferville, au Québec, connaissent une baisse marquée et souvent soudaine de leur population après la fermeture d'une mine ou d'une usine locale. Certaines collectivités tentent de trouver des moyens novateurs de renverser cette tendance. Ainsi, après la fermeture de la mine d'uranium d'Elliot Lake, en Ontario, la ville a su attirer plusieurs milliers de personnes à la recherche d'un endroit tranquille et retiré pour leur retraite.

2.2.2 Population active et emploi

L'économie du Bouclier boréal est fortement tributaire des ressources naturelles (voir le tableau 1). L'écozone fournit quelque 15 % des emplois canadiens liés aux ressources. Les mines et les forêts emploient 5,4 % de la population active totale et se partagent le premier rang des secteurs axés sur l'exploitation des ressources naturelles. Elles sont suivies de la pêche et de l'agriculture qui emploient respectivement 2,5 % et 2,2 % de la population (voir la figure 2). Nombre de personnes, notamment celles d'ascendance autochtone, oeuvrent toujours dans le domaine de la pêche et de la chasse.

Du milieu des années 1980 jusqu'au milieu des années 1990, la population active a affiché une tendance à la baisse dans les secteurs primaire (p. ex. extraction des ressources) et secondaire (p. ex. transformation des ressources), mais une tendance à la hausse dans le secteur tertiaire (p. ex. administration publique, commerce). Cette croissance du secteur tertiaire est attribuable à l'essor général de l'industrie touristique et des services, aux progrès technologiques dans l'extraction des ressources et aux programmes gouvernementaux de décentralisation (Gouvernement du Canada, 1996).

Exploitation forestiere	Exploitation miniere	Hydroélectricité	Autre
• 106 millions d'hectares de terrains forestiers productifs, soit près de la moitié du total du Canada • 43 % des terrains forestiers sont d'intérêt commercial et 70 % d'entre eux sont considérés comme productifs de bois marchand, comparativement à 59 % des forêts du Canada • 400 000 ha sont récoltés chaque année, soit deux fois plus que dans les années 1920 • le secteur forestier du Québec et de l'Ontario a produit 17,3 milliards de dollars d'exportations en 1996, surtout dans le Bouclier boréal, et a contribué pour 12,6 milliards de dollars à la balance commerciale • la coupe à blanc est la méthode utilisée pour exploiter 90 % de la superficie récoltée • les forêts donnent lieu à des activités d'exploitation axées sur la production de fibre ligneuse et de billes de sciage et sur l'approvisionnement des usines de pâtes et papiers • l'industrie des pâtes et papiers génère 5,85 milliards de dollars par année	• génère des recettes de près de 6 milliards de dollars par année, fait vivre plus de 80 collectivités • plus de 50 mines concentrées en Ontario et au Québec • 75 % de la production totale canadienne de fer, de cuivre, de nickel, d'or et d'argent	• pivot du développement économique à l'intérieur et à l'extérieur de l'écozone • approvisionne en énergie les entreprises locales de transformation du bois et du minerai ainsi que les grands centres du sud de l'écozone • 39 % du potentiel hydroélectrique du Canada se trouve dans l'écozone du Bouclier boréal (24 574 MW), ce qui représente 16 milliards de dollars par année • 279 grands barrages — 42 % du total canadien — sont situés dans le Bouclier boréal qui compte également de nombreux petits barrages; plus de 400 barrages à Terre-Neuve	• agriculture (9 % de la superficie totale des terres) limitée à la « ceinture argileuse » dans le centre-nord de l'Ontario et au Québec; l'élevage est la principale production; culture de quelques légumes rustiques • pêche commerciale à Terre-Neuve et dans les lacs de plus de 100 ha • la pêche lacustre est importante pour les peuples autochtones • le tourisme et les loisirs revêtent une importance économique grandissante et assurent la diversification de l'économie; à elle seule, l'Ontario a consacré 462 millions de dollars à des activités touristiques axées sur les ressources en 1996 • chasse, piégeage, cueillette (baies, champignons, plantes médicinales), services de guides, artisanat, etc.

Tableau 1. Importance économique de l'écozone du Bouclier boréal

Source : Adapté d'Eaton et al., 1994; ministère du Développement économique, du Commerce et du Tourisme de l'Ontario, 1996; Environnement Manitoba, 1997.

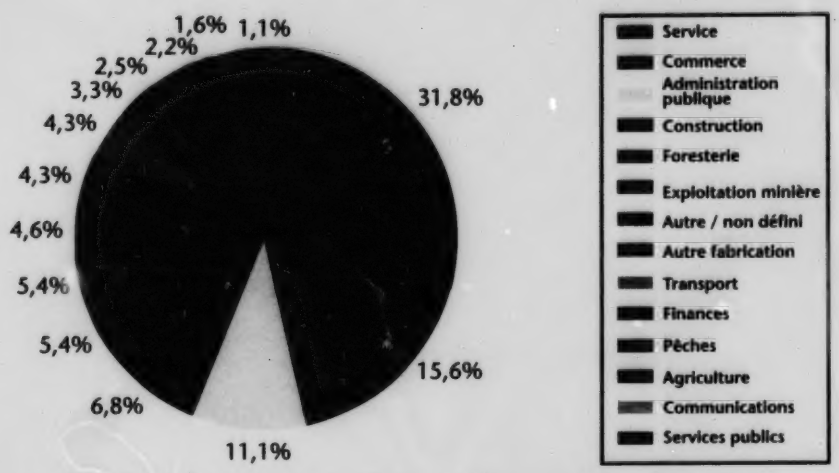


Figure 2. Composition de la population active dans l'écozone du Bouclier boréal

Source : Environnement Manitoba, 1997; Quaile, comm. pers., 1998.

2.2.3 Utilisation des terres

L'aménagement du territoire dans le Bouclier boréal reflète la répartition géographique des ressources ainsi que l'évolution des réseaux de transport. Les vastes forêts sont à la base d'activités comme l'exploitation forestière, la production de fibres ligneuses et de billes de sciage, les usines de pâtes et papiers et la production de panneaux de fibres. Les richesses minérales donnent lieu à des activités de prospection, d'extraction et de fonte des métaux. Les abondantes ressources en eau ont été exploitées aux fins de la mise en oeuvre de grands projets hydroélectriques nécessaires aux centres urbains et industriels du Sud et à la transformation du bois et des minéraux dans l'écozone. Les ressources fauniques et halieutiques sont exploitées à des fins sportives, commerciales et de subsistance et sont à la base d'une industrie touristique en plein essor (Ministère du Développement économique, du Commerce et du Tourisme de l'Ontario, 1996).

Dans l'écozone du Bouclier boréal, l'agriculture est limitée par le climat frais et les sols pauvres et minces. La plupart des activités agricoles sont menées sur 9 % à peine de la superficie totale et sont confinées à la « ceinture argileuse » du centre-sud de l'Ontario et du Québec. Ici et là, toutefois, le climat local et les sols sont favorables à l'agriculture. La majorité des exploitations agricoles sont relativement petites et produisent du bétail, des bovins laitiers et des légumes, des fruits et des céréales rustiques comme l'avoine et l'orge. Certains milieux humides se prêtent à la récolte du riz sauvage, des bleuets, des canneberges et de la tourbe. Dans l'ensemble, l'agriculture est en déclin.

La pêche commerciale revêt une importance locale sur la côte atlantique du Bouclier boréal. Toutefois, depuis le début des années 1990, les populations de poissons se sont effondrées sous l'effet de la surpêche, notamment autour de Terre-Neuve.

Les voies de transport ont été au coeur de la mise en valeur de cette grande région éloignée du Canada. Des réseaux isolés de routes et de voies ferrées relient les petites villes éparses tributaires des ressources aux grands centres urbains du Sud. La construction sporadique de nouvelles routes secondaires continue de faciliter l'accès à certaines régions. Par ailleurs, des réductions récentes des

services de transport des voyageurs par train, par avion et par autobus vers de nombreuses collectivités plus petites ont eu l'effet opposé.

Comme dans le cas des corridors de transport, la superficie occupée par les zones urbanisées est très faible, soit moins de 350 km^2. Bien qu'une bonne partie de l'écozone du Bouclier boréal soit plus ou moins intacte, les effets des activités humaines se font sentir bien au-delà des corridors routiers et ferroviaires ou de la banlieue.

3 Facteurs internes d'agression environnementale

3.1 Forêts

3.1.1 Utilisation des ressources forestières

Les 106 millions d'hectares de forêts productives de bois marchand de l'écozone du Bouclier boréal représentent près de la moitié du total du Canada. La croissance de ces forêts à l'hectare n'est pas aussi vigoureuse que dans maintes autres régions du pays. De par son étendue même, cette écozone vient cependant au premier rang pour la superficie récoltée chaque année au Canada. Ce niveau de récolte permet d'approvisionner 37 usines de pâtes et papiers et de nombreuses scieries.

La majeure partie du bois récolté est destinée à la production de pâte et de papier. Cependant, le volume de bois de feu récolté à Terre-Neuve représente environ 25 % de la récolte totale de cette province. Le Québec et l'Ontario, où se trouvent la majeure partie des forêts productives de bois marchand du Bouclier boréal et 40 % de la forêt d'intérêt commercial du Canada, représentent 40 % de la possibilité annuelle de coupe (PAC).

Environ 400 000 ha de forêt du Bouclier boréal sont récoltés chaque année. Bien que les fluctuations annuelles des volumes récoltés traduisent les hauts et les bas de l'économie, la plupart des indicateurs révèlent une augmentation nette du volume de bois récolté au cours des dernières années. Ainsi, l'Abrégé de statistiques forestières canadiennes (Conseil canadien des ministres des forêts, 1995) indique que le volume marchand net de bois de résineux, qui provient en grande partie du Bouclier boréal, a augmenté, passant de 23,0 millions de mètres cubes en 1990 à 29,0 millions en 1994. Pendant cette même période, le volume de bois de résineux récolté en Ontario est passé de 19,3 millions de mètres cubes à 20,8 millions. En Saskatchewan, le volume a presque doublé entre 1990 et 1995, bondissant de 2,8 millions à 4,9 millions de mètres cubes.

Pendant les années 1990, outre l'augmentation nette du volume de la récolte dans l'écozone, on a assisté à une spectaculaire expansion vers le Nord des diverses activités du secteur forestier. La fusion de plusieurs petites entreprises forestières et l'implantation et l'agrandissement de plusieurs usines régionales ont facilité cette expansion. Parallèlement, les technologies de production du bois ont fait de grands progrès. La mise au point de nouvelles techniques de

fabrication de la pâte, la fabrication de panneaux de particules orientées et la production de copeaux de bois ont incité l'industrie à récolter des arbres plus petits et d'autres essences dont l'exploitation n'était pas jugée rentable dans le passé, comme le peuplier et le bouleau.

Au Québec, les grandes usines et la nouvelle technologie, conjuguées au régime d'octroi de subventions pour les infrastructures (comme les routes et les usines), ont permis à l'industrie forestière d'étendre ses activités jusqu'aux limites septentrionales de l'écozone du Bouclier boréal. Le gouvernement du Québec met actuellement la dernière main à son plan d'affectation d'un important permis de coupe dans une réserve naturelle au nord-est du lac Mistassini, à la limite nord de l'écozone du Bouclier boréal. Les activités d'exploitation forestière devraient également s'étendre bientôt dans le nord de la Saskatchewan, compte tenu des pénuries grandissantes de bois à l'échelle mondiale et du développement des infrastructures dans le Nord (SERM, 1999).

Un opportunisme économique à petite échelle s'ajoute également aux pressions croissantes de l'exploitation forestière exercées sur les parties septentrionales de l'écozone. Ainsi, par souci d'efficacité économique, on octroie de plus en plus de permis de coupe dans le nord-ouest de l'Ontario à de petits exploitants ayant peu d'avenues de développement économique, voire aucune. La nécessité d'améliorer le sort de centaines de petits exploitants qui sont dans une telle situation contribue de façon notable au morcellement incessant de la forêt. Ces conditions socioéconomiques règnent un peu partout dans la forêt du nord du Bouclier boréal (Kronberg, comm. pers., 1998).

3.1.2 Influence des méthodes de récolte et de renouvellement sur les écosystèmes forestiers

La rapide expansion des activités forestières vers le nord du Bouclier boréal soulève plusieurs préoccupations écologiques, car ni la science ni les techniques d'aménagement forestier n'ont pu suivre le rythme de cette expansion. La plupart des fondements scientifiques des pratiques actuelles d'aménagement proviennent de recherches effectuées dans le sud de l'écozone où les écosystèmes, les taux de croissance et le recyclage des éléments nutritifs, notamment, peuvent être très différents de ceux du nord du Bouclier boréal. La répartition géographique des perturbations dues à l'exploitation du Nord n'a été ni cartographiée ni quantifiée avec exactitude (SERM, 1999). De plus, nul n'a la moindre idée des impacts cumulatifs et à long terme d'une foresterie plus intensive sur les secteurs fragiles du nord du Bouclier boréal (Chambers, comm. pers., 1998; Kronberg, comm. pers., 1998).

Bien qu'un grand nombre des secteurs récoltés par de petits exploitants du Nord soient généralement de petite taille, la régénération est souvent insuffisante, car ces exploitants n'ont ni la capacité ni la responsabilité de reboiser les aires récoltées. Par conséquent, ces petits parterres de coupe sont souvent sensibles à l'érosion, notamment lorsqu'ils occupent des sols limoneux et argileux, en raison du temps écoulé entre la récolte et le rétablissement de la végétation (SERM, 1999).

Les risques de perturbation des sols dans le nord de l'écozone sont aggravés par la dominance de sols tourbeux marécageux. En raison de leur teneur relativement élevée en eau et de la faiblesse de leur structure, ces sols sont particulièrement sensibles aux activités forestières qui peuvent provoquer un compactage, la formation de mares, un remaniement, un déplacement,

une perturbation et l'élimination des éléments nutritifs. McNabb (1992) a observé que l'utilisation d'engins exerçant une basse pression au sol ou équipés de pneus larges n'atténue pas nécessairement les pressions exercées sur le sol de ces terrains. D'après les conclusions de cette étude, les activités forestières menées dans les sols détrempés du Nord aggravent les menaces à l'environnement. L'exploitation forestière progresse vers le nord du Bouclier boréal et la plupart des opérations se déroulent actuellement dans de vastes tourbières et des pessières où les impacts de ces activités ne sont pas documentés.

Environ 90 % de la récolte totale s'effectue par coupe à blanc (Gouvernement du Canada, 1996). La plupart des aménagistes affirment que la piètre qualité et le faible volume de nombreux peuplements mûrs font de la coupe à blanc la seule méthode rentable d'exploitation des forêts boréales. Ils soutiennent qu'il s'agit là du régime d'exploitation le plus écologique des écosystèmes forestiers boréaux équiennes et qu'il offre le meilleur rapport coût–efficacité pour créer des conditions propices à la régénération. Les adversaires de la coupe à blanc font valoir que cette pratique ne favorise pas la durabilité de l'environnement et peut entraîner une perte considérable de biodiversité et réduire la qualité du sol et de l'eau (Gouvernement du Canada, 1996).

Bien que les impacts éventuels de la coupe à blanc sur l'environnement soient bien documentés (p. ex. DesGranges et Rondeau, 1992), une récente étude de surveillance de la déforestation près de trois petits lacs (30 ha) du Bouclier boréal au nord-est du lac Supérieur a donné des résultats intéressants (Steedman et Morash, 1998). Le protocole expérimental prévoyait cinq années préalables de surveillance exhaustive de l'écosystème, dont le climat, l'hydrologie, les conditions limnologiques physiques et chimiques et le biote aquatique. Deux ans après la coupe à blanc de 70 à 80 % de leurs bassins versants, le seul impact notable observé dans ces lacs était un léger enrichissement en substances nutritives. À ce jour, la dynamique de la stratification, l'épuisement de l'oxygène et les populations de poissons de la zone littorale n'ont affiché aucun changement mesurable.

Il y a deux grandes méthodes de coupe à blanc dans le Bouclier boréal : l'exploitation par arbres entiers et l'exploitation par troncs entiers. Dans le premier cas, l'arbre abattu est transporté avec ses branches et son feuillage jusqu'en bordure de la route où il est ébranché. Dans le cas de l'exploitation par troncs entiers, les branches et le feuillage sont enlevés à la souche et seul le tronc est transporté jusqu'au bord de la route. Ce dernier mode d'exploitation élimine du lieu une plus faible quantité de biomasse et d'éléments nutritifs. Certains soutiennent toutefois que les rémanents peuvent nuire à la régénération. Dans l'évaluation environnementale générale de l'industrie forestière effectuée en Ontario, il est recommandé de faire de l'ébranchage à la souche (mode d'exploitation par troncs entiers) une pratique courante. Par ailleurs, de nombreuses entreprises du Québec pratiquent couramment l'ébranchage en bordure des routes. Les impacts relatifs de ces deux modes d'exploitation doivent faire l'objet d'études plus approfondies, surtout qu'ils sont maintenant intégrés aux politiques forestières de la province (Quaile, comm. pers., 1998).

La coupe à blanc et le feu sont les deux facteurs les plus évidents qui influent actuellement sur les forêts du Bouclier boréal. Maints partisans de la coupe à blanc font valoir que cette pratique imite les effets d'un feu de forêt. Toutefois, des recherches sur le terrain révèlent que les perturbations naturelles causées par le feu sont impossibles à reproduire complètement à l'aide des pratiques forestières commerciales. De plus, les feux de forêt ne laissent pas derrière eux des routes,

des ponts, des ouvrages de drainage, des fosses d'emprunt, des dépôts transitoires à sol compacté, des débris, etc. Fait encore plus important, les feux ne ciblent pas uniquement les arbres plus âgés ou les essences forestières, comme le font la plupart des pratiques forestières dans cette écozone (Chambers, comm. pers., 1998). Reconnaissant qu'il n'est pas possible d'imiter tous les aspects des changements dus au feu, le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario a adopté l'expression « émulation d'une perturbation naturelle » pour promouvoir les pratiques forestières qui tentent d'imiter une perturbation naturelle, lorsqu'il est possible et pratique de le faire (Cole, comm. pers., 1998). Le resserrement de la surveillance des effets des feux de forêt pourrait contribuer au succès de la mise en oeuvre de telles politiques.

Les nombreuses usines de pâtes et papiers de l'écozone ont toujours été d'importantes sources ponctuelles de pollution du milieu aquatique par le mercure, les dioxines, les furannes et d'autres composés organochlorés (Rudd *et al.*, 1983). Le resserrement de la réglementation gouvernementale et les progrès de la technologie ont atténué ces problèmes dans la plupart des usines. Toutes les installations font généralement l'objet d'une surveillance et d'inspections régulières. Toutefois, malgré les systèmes perfectionnés de traitement des effluents, maintes usines de pâte continuent de rejeter de grandes quantités de matière organique dissoute, comme des tannins et d'autres substances humiques très colorées. Même si ces substances ne présentent pas nécessairement une toxicité aiguë, les effets cumulatifs à long terme sur les lacs et les cours d'eau du Bouclier boréal sont méconnus.

D'après Savidge (comm. pers., 1998), les activités forestières modifient considérablement la répartition et la diversité génétique des essences forestières du Bouclier boréal. Les paysages génétiques sont remaniés par les vastes coupes à blanc et la plantation d'arbres génétiquement modifiés. Nombre de spécialistes des sciences forestières disent maintenant craindre que les arbres « améliorés » à croissance rapide ne donnent un bois moins résistant et diminuent la capacité de récupération après un changement de l'environnement. Il faudra mener d'autres activités de recherche et de surveillance sur le terrain pour établir pleinement la validité de ces préoccupations et juger de leur importance écologique et économique. Pendant ce temps, les chercheurs en biotechnologie poursuivent leurs recherches pour obtenir des arbres à croissance encore plus rapide.

On a signalé des impacts socioéconomiques de l'exploitation forestière dans le Bouclier boréal chez les Cris de la rivière Moose. Les vastes opérations de coupe à blanc ont été reliées à une diminution du nombre d'animaux piégés, à une destruction des sentiers traditionnels, à une importante pollution sonore et à l'effritement des valeurs culturelles. Les rejets des usines de pâtes et papiers qu'elles approvisionnent ont contaminé les réserves d'eau potable des Cris et ont provoqué une baisse des populations locales de poissons et du nombre de prises (EIP, 1997a,b).

3.1.3 Aménagement forestier

Dans maintes régions du Bouclier boréal, la surveillance des effets environnementaux des opérations forestières et des usines de pâtes et papiers était jadis presque entièrement laissée entre les mains de l'industrie forestière. En outre, les exigences en matière de surveillance varient beaucoup d'une province à l'autre. La Saskatchewan a pris l'initiative de tenter de remédier à cette situation gênante qui soulève souvent chez le public des questions sur l'obligation de rendre compte et sur les conflits d'intérêts (Chambers, comm. pers., 1998). Le ministère de

l'Environnement et de la Gestion des ressources de la Saskatchewan (SERM) met actuellement en oeuvre des programmes de surveillance en partenariat avec l'industrie et d'autres organisations intéressées (Mclaughlan, comm. pers., 1998).

Plusieurs instances ont récemment adopté des politiques pour aider à protéger les zones riveraines et les étendues d'eau adjacentes à des terrains forestiers exploités. Afin de réduire le plus possible l'envasement dû à l'exploitation forestière, Terre-Neuve a instauré en 1994 des règles strictes concernant les zones tampons autour des cours d'eau et des lacs. On apporte maintenant une attention particulière aux conditions topographiques et pédologiques lors de la construction de routes d'accès afin de prévenir la dégradation du sol (Eaton *et al.*, 1994). Terre-Neuve a aussi créé des réserves génétiques spéciales pour protéger les vestiges de vieux peuplements dont bon nombre se trouvent dans les zones riveraines. Au cours de la dernière décennie, l'Ontario a fait la promotion de la protection de l'habitat des zones riveraines et des frayères en adoptant une politique qui exige explicitement l'établissement de zones tampons de 30 à 90 m de largeur, selon la stabilité du sol et la déclivité (Cole, comm. pers., 1998). La Saskatchewan élabore actuellement des normes et des lignes directrices améliorées en matière de protection des zones riveraines et des ressources halieutiques et fauniques qui leur sont associées (SERM, 1999).

Dans le Bouclier boréal, les impacts des usines de pâtes et papiers ont énormément diminué pendant les années 1990 grâce à certaines améliorations apportées au fonctionnement des usines. Ces dernières ont notamment mis fin au flottage du bois (couramment appelé drave), mis en place des systèmes de traitement secondaire de leurs effluents et adopté des procédés de désencrage et de blanchiment plus respectueux de l'environnement. Les deux premières améliorations ont entre autres permis de réduire la demande biochimique en oxygène (DBO) dans les cours d'eau du Bouclier boréal (EIP, 1997a). Les effets des anciennes pratiques, comme l'obstruction des cours d'eau par des milliers de billes et des débris ligneux, continuent toutefois de se faire sentir. Les préoccupations soulevées par le dysfonctionnement des enzymes hépatiques chez le poisson dû aux effluents des usines – même ceux des usines qui n'utilisent plus d'agents de blanchiment au chlore – persistent toujours (Munkittrick *et al.*, 1994; Bezte *et al.*, 1997). On a aussi établi un lien entre la présence continue de substances organochlorées, comme les biphényles polychlorés (BPC), dans les écosystèmes aquatiques et le dysfonctionnement des enzymes hépatiques chez le poisson. Lors de recherches récentes, des chercheurs ont détecté la présence de produits de lixiviation très toxiques provenant du bois de feuillus et de résineux entreposés près de l'eau.

Les Critères et indicateurs de l'aménagement durable des forêts au Canada (Conseil canadien des ministres des forêts, 1997) abordent les questions relatives aux Autochtones et aux activités forestières. Ce cadre est l'une des nombreuses mesures stratégiques portant sur l'aménagement et la conservation des ressources forestières du Canada. Il comporte des indicateurs qui favorisent la participation des Autochtones à la planification et à l'aménagement des forêts ainsi qu'aux possibilités économiques connexes (McAfee, comm. pers., 1998). Il est aussi de plus en plus reconnu que le savoir écologique traditionnel des Autochtones et d'autres habitants de la région doit jouer un rôle plus prédominant dans la planification des forêts de cette écozone (Welsh et Venier, 1996; Barsh, 1997; Des terres pour la vie, 1998).

La Stratégie nationale sur les forêts (Service canadien des forêts, 1998), une autre initiative stratégique dévoilée au printemps 1998, offre à la communauté forestière un cadre d'orientation de ses politiques

et de ses actions pour les prochaines années (voir l'encadré 1). Elle expose les grandes lignes des pratiques forestières et sylvicoles qu'il faut respecter pour concrétiser l'objectif de l'aménagement durable des forêts. Elle vise à réduire les pertes de bois marchand causées par le feu, les insectes et la concurrence végétale sans perturber la dynamique de l'écosystème naturel. Il faudra exercer une surveillance sur le terrain pour déterminer dans quelle mesure ces objectifs fort valables sont atteints.

Il faudra peut-être trouver des méthodes d'aménagement novatrices pour s'attaquer aux nombreux facteurs d'agression liés à l'exploitation forestière dans le Bouclier boréal. Ainsi, l'« aménagement des peuplements mixtes » est un nouveau concept que l'on envisage d'appliquer dans certaines parties de l'écozone (MacDonald, 1995). Les forêts mixtes, qui sont composées de résineux et de feuillus, couvrent plus de la moitié de la superficie boisée totale dans des régions comme le nord-est de l'Ontario, et les activités d'exploitation forestière semblent faire augmenter cette proportion (Hearnden *et al.*, 1992). Selon la méthode d'aménagement des peuplements mixtes, il est plus avantageux, sur les plans biologique et économique, d'aménager les essences forestières variées qui constituent la régénération naturelle que de tenter de convertir les aires récoltées en plantations de conifères. Il faut moduler les avantages de cette méthode et tenir compte du fait que les processus de succession postérieurs à une coupe à blanc ne rétablissent pas nécessairement les proportions initiales des essences résineuses recherchées.

L'aménagement écoforestier est un principe théorique fort populaire. Dans la pratique néanmoins, il constitue un défi de taille qui exigera de l'industrie forestière beaucoup de souplesse, de collaboration et une grande faculté d'adaptation. Il sera impératif de raffiner considérablement les données de base. Le choix d'indicateurs environnementaux et de programmes de surveillance appropriés axés sur la conservation de la biodiversité forestière constitue une autre grande priorité. Le gouvernement du Québec a fixé des objectifs explicites en matière de recherche et de politique afin de promouvoir l'aménagement écosystémique des forêts dans l'ensemble de la province (Gouvernement du Québec, 1996).

Plusieurs autres initiatives stratégiques récentes font espérer une amélioration de l'aménagement et de la conservation des ressources forestières dans l'écozone du Bouclier boréal. Nombre d'entre elles comportent des dispositions prévoyant la désignation de zones naturelles représentatives, l'amélioration des inventaires biologiques, le raffinement et le partage des données de référence, le renforcement des systèmes de surveillance de la biodiversité et l'utilisation du savoir traditionnel dans la gestion des ressources naturelles.

M121

IMPORTANT NOTE CONCERNING THE FOLLOWING PAGES

THE PAGES WHICH FOLLOW HAVE BEEN FILMED TWICE IN ORDER TO OBTAIN THE BEST REPRODUCTIVE QUALITY

USERS SHOULD CONSULT ALL THE PAGES REPRODUCED ON THE FICHE IN ORDER TO OBTAIN A COMPLETE READING OF THE TEXT.

REMARQUE IMPORTANTE CONCERNANT LES PAGES QUI SUIVENT

LES PAGES SUIVANTES ONT ÉTÉ REPRODUITES EN DOUBLE AFIN D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DE REPRODUCTION

LES UTILISATEURS DOIVENT CONSULTER TOUTES LES PAGES REPRODUITES SUR LA FICHE AFIN D'OBTENIR LA LECTURE DU TEXTE INTÉGRAL

Micromedia
ProQuest

20 Victoria Street
Toronto, Ontario M5C 2N8
Tel.: (416) 362-5211
Toll Free: 1-800-387-2689
Fax: (416) 362-6161
Email: info@micromedia.on.ca

Initiatives stratégiques canadiennes :

- Stratégie nationale sur les forêts 1998–2003 (Service canadien des forêts, 1998)
- Critères et indicateurs de l'aménagement durable des forêts (Conseil canadien des ministres des Forêts, 1997)
- Stratégie canadienne de la biodiversité (Environnement Canada, 1995)
- Engagement formel de compléter le réseau canadien des aires protégées (1992)
- Une politique des espèces sauvages pour le Canada (Conseil canadien des ministres de la Faune, 1990)
- Espèces canadiennes en péril (Comité sur la situation des espèces en péril au Canada [COSEPAC]; document mis à jour chaque année)

Initiatives stratégiques internationales avalisées par le Canada :

- Principes et critères du Forest Stewardship Council (Forest Stewardship Council, 1995)
- Accords résultant du Sommet de la Terre tenu à Rio de Janeiro en 1992 (CNUED, 1992):
  - Accord sur la gestion, la conservation et l'exploitation écologiquement viable de tous les types de forêt
  - Conception intégrée de la planification et de la gestion des terres
  - Lutte contre le déboisement

Encadré 1. Initiatives stratégiques canadiennes et internationales en matière d'aménagement des forêts

3.2 Exploitation minière

3.2.1 Utilisation des ressources minérales

Dans l'écozone du Bouclier boréal, les activités d'exploitation minière se déroulent surtout dans le centre-nord du Québec et de l'Ontario et dans le nord de la Saskatchewan et du Manitoba. Soixante-quinze pour cent de la production canadienne de fer, de cuivre, de nickel, d'or et d'argent provient de cette écozone.

Le nord de la Saskatchewan est la plus importante région productrice d'uranium dans le monde. En 1997, les trois mines en exploitation de la province, toutes situées dans le Bouclier boréal, ont produit 14 200 t, ce qui représente 34 % de la production mondiale d'uranium. Compte tenu de la cadence actuelle de production, les réserves prouvées d'uranium de la province devraient durer pendant plus de 30 ans (SERM, 1999). Trois nouveaux projets de mines d'uranium sont en cours à McClean Lake, McArthur River et Cigar Lake, et un quatrième devrait débuter au début du XXI[e] siècle sur le site de la mine Midwest. Le sable siliceux et la pierre de construction sont d'autres ressources minérales qui pourraient être exploitées dans la partie du Bouclier boréal située en Saskatchewan.

3.2.2 Impacts de l'exploitation minière

Les fonderies du Bouclier boréal sont des sources ponctuelles de polluants acides et de métaux lourds qui, à la faveur de leur transport atmosphérique, provoquent une contamination à grande

Initiatives stratégiques canadiennes :

- Stratégie nationale sur les forêts 1998–2003 (Service canadien des forêts, 1998)
- Critères et indicateurs de l'aménagement durable des forêts (Conseil canadien des ministres des Forêts, 1997)
- Stratégie canadienne de la biodiversité (Environnement Canada, 1995)
- Engagement formel de compléter le réseau canadien des aires protégées (1992)
- Une politique des espèces sauvages pour le Canada (Conseil canadien des ministres de la Faune, 1990)
- Espèces canadiennes en péril (Comité sur la situation des espèces en péril au Canada [COSEPAC]; document mis à jour chaque année)

Initiatives stratégiques internationales avalisées par le Canada :

- Principes et critères du Forest Stewardship Council (Forest Stewardship Council, 1995)
- Accords résultant du Sommet de la Terre tenu à Rio de Janeiro en 1992 (CNUED, 1992):
  - Accord sur la gestion, la conservation et l'exploitation écologiquement viable de tous les types de forêt
  - Conception intégrée de la planification et de la gestion des terres
  - Lutte contre le déboisement

Encadré 1. Initiatives stratégiques canadiennes et internationales en matière d'aménagement des forêts

3.2 Exploitation minière

3.2.1 Utilisation des ressources minérales

Dans l'écozone du Bouclier boréal, les activités d'exploitation minière se déroulent surtout dans le centre-nord du Québec et de l'Ontario et dans le nord de la Saskatchewan et du Manitoba. Soixante-quinze pour cent de la production canadienne de fer, de cuivre, de nickel, d'or et d'argent provient de cette écozone.

Le nord de la Saskatchewan est la plus importante région productrice d'uranium dans le monde. En 1997, les trois mines en exploitation de la province, toutes situées dans le Bouclier boréal, ont produit 14 200 t, ce qui représente 34 % de la production mondiale d'uranium. Compte tenu de la cadence actuelle de production, les réserves prouvées d'uranium de la province devraient durer pendant plus de 30 ans (SERM, 1999). Trois nouveaux projets de mines d'uranium sont en cours à McClean Lake, McArthur River et Cigar Lake, et un quatrième devrait débuter au début du XXI^{e} siècle sur le site de la mine Midwest. Le sable siliceux et la pierre de construction sont d'autres ressources minérales qui pourraient être exploitées dans la partie du Bouclier boréal située en Saskatchewan.

3.2.2 Impacts de l'exploitation minière

Les fonderies du Bouclier boréal sont des sources ponctuelles de polluants acides et de métaux lourds qui, à la faveur de leur transport atmosphérique, provoquent une contamination à grande

échelle du milieu aquatique (Lockhart *et al.*, 1993; Gunn, 1995; Rudd, 1995). Les méthodes de fusion et autres procédés industriels rejettent du mercure et du cadmium qui se déposent ensuite dans le paysage, notamment dans les lacs du Bouclier boréal. Une fois entrées dans la chaîne alimentaire, ces substances s'accumulent dans les tissus des organismes et peuvent atteindre des concentrations toxiques (Malley, 1993; Malley *et al.*, 1996). La fonderie de Flin Flon, au Manitoba, est une cause constante de préoccupations environnementales et dépasse les limites d'émissions pendant 150 heures en moyenne par année (Environnement Manitoba, 1997). Même si les fonderies de l'Est ont réduit leurs émissions acides de plus de 75 % au cours des 20 dernières années, celles du Manitoba n'ont diminué les leurs (émissions combinées de Flin Flon et de Thompson) que de 24 % pendant la même période (tableau 2).

Émissions de dioxyde de soufre (en kt)			
Emplacement de la fonderie	**1970**	**1992**	**1994**
Flin Flon, Manitoba	265	288	194
Thompson, Manitoba	485	267	194
Copper Cliff, Ontario	1 992	416[1]	162
Falconbridge, Ontario	342	54	54
Timmins, Ontario	N/D	4	2
Noranda, Québec	1 619	170	156

Tableau 2. Tendances des émissions de dioxyde de soufre de certaines fonderies
N/D = données non disponibles (la fonderie a ouvert ses portes en 1972)
[1] Diminution de 30 % en 1994.

Source : Falconbridge Limitée, 1992; Compagnie minière et métallurgique de la Baie d'Hudson Ltée, 1993; Minéraux Noranda Inc., 1993; Environnement Manitoba, 1995.

L'exploration minérale continue perturbe généralement un plus grand territoire que l'exploitation minière, surtout parce qu'elle nécessite l'accès à de vastes régions pour accroître les chances de trouver des gisements minéraux rentables (voir la figure 3; Gouvernement du Canada, 1996). Ainsi, en Saskatchewan, les sociétés d'exploration détiennent plus de 1 200 baux d'exploration minière ou claims miniers qui couvrent une superficie de plus de 2,2 millions d'hectares dans l'écozone du Bouclier boréal (SERM, 1999). On a toujours pensé que les impacts de la construction routière, du déboisement de sentiers, de l'excavation de tranchées, de l'abattage à l'explosif et des forages d'exploration étaient temporaires et localisés. Il faut toutefois recueillir d'autres données sur ces impacts pour valider cette hypothèse. Le broyage et le traitement requièrent une superficie relativement plus faible que l'exploration, mais le site minier, les résidus miniers et les stériles pourraient avoir des répercussions environnementales à plus long terme.

La biodiversité aquatique est l'élément le plus touché par les mines du Bouclier boréal en raison du rejet des effluents dans l'eau. L'ampleur des effets sur les écosystèmes aquatiques dépend de la nature du minerai, de la roche hôte et de la méthode de traitement. Les sites miniers plus anciens et/ou ceux à exhaure acide ont généralement des répercussions plus importantes que les sites plus récents. Les effluents des mines peuvent contenir des concentrations élevées de métaux lourds ainsi que du cyanure, de l'arsenic ou des composés radioactifs. Le rejet d'effluents contribue également à accroître les concentrations de matière en suspension. Ces effluents peuvent contenir des teneurs élevées en minéraux sulfurés qui, par oxydation, se transforment en acide sulfurique. L'élimination

échelle du milieu aquatique (Lockhart *et al.*, 1993; Gunn, 1995; Rudd, 1995). Les méthodes de fusion et autres procédés industriels rejettent du mercure et du cadmium qui se déposent ensuite dans le paysage, notamment dans les lacs du Bouclier boréal. Une fois entrées dans la chaîne alimentaire, ces substances s'accumulent dans les tissus des organismes et peuvent atteindre des concentrations toxiques (Malley, 1993; Malley *et al.*, 1996). La fonderie de Flin Flon, au Manitoba, est une cause constante de préoccupations environnementales et dépasse les limites d'émissions pendant 150 heures en moyenne par année (Environnement Manitoba, 1997). Même si les fonderies de l'Est ont réduit leurs émissions acides de plus de 75 % au cours des 20 dernières années, celles du Manitoba n'ont diminué les leurs (émissions combinées de Flin Flon et de Thompson) que de 24 % pendant la même période (tableau 2).

	Émissions de dioxyde de soufre (en kt)		
Emplacement de la fonderie	**1970**	**1992**	**1994**
Flin Flon, Manitoba	265	288	194
Thompson, Manitoba	485	267	194
Copper Cliff, Ontario	1 992	416[1]	162
Falconbridge, Ontario	342	54	54
Timmins, Ontario	N/D	4	2
Noranda, Québec	1 619	170	156

Tableau 2. Tendances des émissions de dioxyde de soufre de certaines fonderies
N/D = données non disponibles (la fonderie a ouvert ses portes en 1972)
[1] Diminution de 30 % en 1994.

Source : Falconbridge Limitée, 1992; Compagnie minière et métallurgique de la Baie d'Hudson Ltée, 1993; Minéraux Noranda Inc., 1993; Environnement Manitoba, 1995.

L'exploration minérale continue perturbe généralement un plus grand territoire que l'exploitation minière, surtout parce qu'elle nécessite l'accès à de vastes régions pour accroître les chances de trouver des gisements minéraux rentables (voir la figure 3; Gouvernement du Canada, 1996). Ainsi, en Saskatchewan, les sociétés d'exploration détiennent plus de 1 200 baux d'exploration minière ou claims miniers qui couvrent une superficie de plus de 2,2 millions d'hectares dans l'écozone du Bouclier boréal (SERM, 1999). On a toujours pensé que les impacts de la construction routière, du déboisement de sentiers, de l'excavation de tranchées, de l'abattage à l'explosif et des forages d'exploration étaient temporaires et localisés. Il faut toutefois recueillir d'autres données sur ces impacts pour valider cette hypothèse. Le broyage et le traitement requièrent une superficie relativement plus faible que l'exploration, mais le site minier, les résidus miniers et les stériles pourraient avoir des répercussions environnementales à plus long terme.

La biodiversité aquatique est l'élément le plus touché par les mines du Bouclier boréal en raison du rejet des effluents dans l'eau. L'ampleur des effets sur les écosystèmes aquatiques dépend de la nature du minerai, de la roche hôte et de la méthode de traitement. Les sites miniers plus anciens et/ou ceux à exhaure acide ont généralement des répercussions plus importantes que les sites plus récents. Les effluents des mines peuvent contenir des concentrations élevées de métaux lourds ainsi que du cyanure, de l'arsenic ou des composés radioactifs. Le rejet d'effluents contribue également à accroître les concentrations de matière en suspension. Ces effluents peuvent contenir des teneurs élevées en minéraux sulfurés qui, par oxydation, se transforment en acide sulfurique. L'élimination

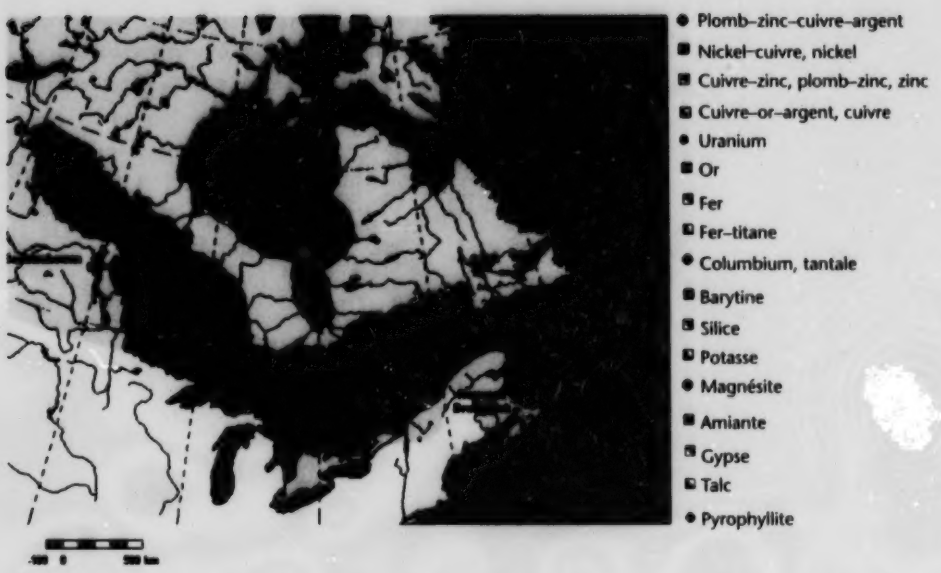


Figure 3. Régions minérales de l'écozone du Bouclier boréal, 1990

Source : Service d'information de l'Atlas national, Ressources naturelles Canada (Figure 5.8, dans Gouvernement du Canada, 1996)

inadéquate des résidus d'extraction minière et l'axhaure acide connexe ont provoqué des problèmes de toxicité aiguë à certains endroits (EIP, 1997a) et des effets chroniques à plus grande échelle en aval. À moins que les sites miniers ne soient convenablement remis en état, de tels impacts peuvent continuer de se faire sentir plusieurs décennies après l'abandon de la mine. L'Ontario compte à elle seule plus de 6 000 sites miniers abandonnés et une fraction d'entre eux seulement ont été fermés de manière écologiquement acceptable. Nombre de ces mines sont « laissées à l'abandon » et n'ont plus de propriétaire. La partie du Bouclier boréal située en Saskatchewan compte au moins une mine d'uranium laissée à l'abandon et plusieurs mines de métaux communs et de métaux précieux qui resteront autant de sources de pollution potentiellement grave du milieu aquatique tant qu'elles n'auront pas été convenablement décontaminées.

3.2.3 Gestion des mines

En raison de ses pratiques dans les mines en exploitation ainsi que des processus qui se poursuivent encore dans des mines fermées ou abandonnées, l'industrie minière continue de présenter un stress à long terme sur l'écozone du Bouclier boréal. L'Évaluation des effets de l'exploitation minière sur le milieu aquatique au Canada effectuée en 1996 par le gouvernement fédéral (AQUAMIN, 1996) a relevé plusieurs lacunes liées à la réglementation et aux politiques qui entravent actuellement la réduction des effets de l'exploitation minière (voir l'encadré 2). Concluant que les effluents de mine continuent d'avoir des effets sur les écosystèmes aquatiques, le rapport AQUAMIN a recommandé l'élaboration d'une structure nationale de coopération pour la protection de l'environnement visant le secteur minier. La structure devrait comprendre les éléments suivants : un règlement révisé sur les effluents liquides des mines de métaux (RELMM), l'élaboration, au besoin, d'exigences propres au site pour protéger les milieux récepteurs avoisinants, et le suivi des effets sur l'environnement, qui renseignera sur l'efficacité des deux autres éléments. Le gouvernement

fédéral collabore avec des intervenants à la mise en oeuvre des recommandations du rapport AQUAMIN et à l'élaboration de la structure de protection de l'environnement. Un RELMM révisé, qui exigera des exploitants de mine qu'ils effectuent le suivi des effets sur l'environnement de chaque mine au Canada, devrait entrer en vigueur en 2001.

L'Évaluation des effets de l'exploitation minière sur le milieu aquatique au Canada (AQUAMIN) a signalé plusieurs lacunes dans la réglementation et les politiques qui font actuellement obstacle à la réduction des impacts de l'exploitation minière (AQUAMIN, 1996):

- **Il faudrait ainsi renforcer le *Règlement sur les effluents liquides des mines de métaux* (RELMM) et d'autres éléments du cadre national de protection de l'environnement.**
- **Le RELMM devrait réglementer les cyanures.**
- **Il est recommandé que d'autres métaux, éléments et composés, comme l'aluminium, le cadmium, le calcium, les fluorures, le fer, le mercure, le molybdène, les composés azotés et les sulfosels fassent l'objet d'une surveillance. Il faut régulièrement rendre compte du mercure et du cadmium, notamment si leurs concentrations dépassent un niveau donné.**
- **Un programme de suivi des effets environnementaux devrait être un programme cohérent au niveau national, propre au site et non normatif. Il doit comprendre deux volets distincts : la caractérisation du site (description complète du fonctionnement) et l'étude sur le terrain et le suivi. L'information obtenue au cours de ces deux étapes doit être scientifiquement défendable.**
- **Il faudrait revoir périodiquement les effets acceptables et inacceptables des effluents miniers pour tenir compte de l'évolution des valeurs sociales et des sciences de l'environnement.**
- **Il faut compiler des données sur la biodisponibilité des métaux, leur bioaccumulation et leurs effets écologiques en vue de l'application de la réglementation environnementale.**

Encadré 2. Lacunes dans la réglementation et les politiques qui nuisent à la réduction des impacts de l'exploitation minière

L'amélioration des politiques de gestion des mines doit s'appuyer sur la recherche scientifique appliquée et la surveillance. La région des lacs de l'Abitibi, au Québec, en offre un bon exemple : des scientifiques y étudient les effets toxiques de la contamination par les métaux sur les anodontes et les bivalves indigènes, longtemps considérés comme des indicateurs utiles de la pollution de l'eau (Pinel-Alloul, comm. pers., 1998). De nouvelles méthodes ont été utilisées pour établir des liens entre les concentrations de métaux dans ces espèces et les effets nocifs à différents niveaux de l'organisme (cellule, individu, population). Cette recherche est parrainée conjointement et de façon novatrice par un groupe de partenaires composé de Minéraux Noranda, de l'INRS-Eau à l'Université de Montréal, de CANMET (Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie) de Ressources naturelles Canada, et du Service canadien de la faune d'Environnement Canada.

fédéral collabore avec des intervenants à la mise en oeuvre des recommandations du rapport AQUAMIN et à l'élaboration de la structure de protection de l'environnement. Un RELMM révisé, qui exigera des exploitants de mine qu'ils effectuent le suivi des effets sur l'environnement de chaque mine au Canada, devrait entrer en vigueur en 2001.

L'Évaluation des effets de l'exploitation minière sur le milieu aquatique au Canada (AQUAMIN) a signalé plusieurs lacunes dans la réglementation et les politiques qui font actuellement obstacle à la réduction des impacts de l'exploitation minière (AQUAMIN, 1996):

- Il faudrait ainsi renforcer le *Règlement sur les effluents liquides des mines de métaux* (RELMM) et d'autres éléments du cadre national de protection de l'environnement.
- Le RELMM devrait réglementer les cyanures.
- Il est recommandé que d'autres métaux, éléments et composés, comme l'aluminium, le cadmium, le calcium, les fluorures, le fer, le mercure, le molybdène, les composés azotés et les sulfosels fassent l'objet d'une surveillance. Il faut régulièrement rendre compte du mercure et du cadmium, notamment si leurs concentrations dépassent un niveau donné.
- Un programme de suivi des effets environnementaux devrait être un programme cohérent au niveau national, propre au site et non normatif. Il doit comprendre deux volets distincts : la caractérisation du site (description complète du fonctionnement) et l'étude sur le terrain et le suivi. L'information obtenue au cours de ces deux étapes doit être scientifiquement défendable.
- Il faudrait revoir périodiquement les effets acceptables et inacceptables des effluents miniers pour tenir compte de l'évolution des valeurs sociales et des sciences de l'environnement.
- Il faut compiler des données sur la biodisponibilité des métaux, leur bioaccumulation et leurs effets écologiques en vue de l'application de la réglementation environnementale.

Encadré 2. Lacunes dans la réglementation et les politiques qui nuisent à la réduction des impacts de l'exploitation minière

L'amélioration des politiques de gestion des mines doit s'appuyer sur la recherche scientifique appliquée et la surveillance. La région des lacs de l'Abitibi, au Québec, en offre un bon exemple : des scientifiques y étudient les effets toxiques de la contamination par les métaux sur les anodontes et les bivalves indigènes, longtemps considérés comme des indicateurs utiles de la pollution de l'eau (Pinel-Alloul, comm. pers., 1998). De nouvelles méthodes ont été utilisées pour établir des liens entre les concentrations de métaux dans ces espèces et les effets nocifs à différents niveaux de l'organisme (cellule, individu, population). Cette recherche est parrainée conjointement et de façon novatrice par un groupe de partenaires composé de Minéraux Noranda, de l'INRS-Eau à l'Université de Montréal, de CANMET (Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie) de Ressources naturelles Canada, et du Service canadien de la faune d'Environnement Canada.

3.3 Hydroélectricité

3.3.1 Utilisation des ressources hydroélectriques

Le Canada est le premier producteur mondial d'hydroélectricité, avec 62 722 MW de puissance installée et environ 15 % de la production totale. Les cours d'eau qui prennent naissance ou qui coulent dans l'écozone du Bouclier boréal représentent 35 % du potentiel hydroélectrique du pays. Le Bouclier renferme 279 des 662 grands barrages (42 %) du Canada (Gouvernement du Canada, 1996).

Dans le Bouclier boréal, les grands projets incluent le complexe des chutes Churchill (1971) au Labrador, le projet d'aménagement du lac Winnipeg et de dérivation de la rivière Churchill et du fleuve Nelson (1976), au Manitoba, et la centrale hydroélectrique d'Island Falls (1930) en Saskatchewan. Le projet du bassin de la rivière Churchill et du fleuve Nelson est le plus important en son genre, couvrant la moitié nord de la Saskatchewan et du Manitoba et produisant 3 700 MW. Terre-Neuve ne possède aucun complexe hydroélectrique de cette envergure, mais compte plus de 400 petits barrages associés à des aménagements hydroélectriques (Eaton *et al.*, 1994).

Les ouvrages de dérivation dirigent les eaux de deux ou plusieurs sources vers un canal unique de manière à garantir un débit plus important et plus stable pour les installations hydroélectriques. C'est au Canada que l'on dérive le plus grand volume d'eau dans le monde. Les ouvrages de dérivation du Bouclier boréal représentent 59 % du volume dérivé par les principaux ouvrages interbassins dans tout le Canada. Soixante pour cent de ce volume d'eau (2 612 m^3/s) s'écoule dans l'écozone du Bouclier boréal (Day et Quinn, 1992). Contrairement aux États-Unis où les ouvrages de dérivation sont utilisés à des fins d'irrigation des terres agricoles et d'approvisionnement en eau, ceux du Bouclier boréal sont destinés à la production d'électricité.

Quatre-vingt-cinq pour cent des bassins versants situés en tout ou en partie dans l'écozone du Bouclier boréal ont été modifiés d'une manière quelconque par des aménagements hydroélectriques. Soixante-dix sept pour cent d'entre eux comptent de grands barrages et 25 %, de grands réservoirs. Les transferts d'eau ont augmenté ou réduit le débit des cours d'eau dans 33 % d'entre eux (Gouvernement du Canada, 1996).

Même si le gros des aménagements hydroélectriques est probablement terminé dans cette écozone, la production éventuelle de recettes et l'attrait exercé par les devises étrangères pourraient donner lieu à la mise en valeur de ressources hydroélectriques d'intérêt marginal à l'échelle locale, mais susceptibles d'intéresser des consommateurs d'autres provinces ou d'États américains. Plusieurs projets de construction de barrages dans le nord-ouest de l'Ontario et dans le nord de la Saskatchewan sont actuellement suspendus. Au Manitoba, 1 100 MW pourraient s'ajouter au complexe de la rivière Churchill et du fleuve Nelson si le projet de centrale hydroélectrique de Conawapa se concrétise (Environnement Canada et Pêches et Océans Canada, 1992a). Pendant ce temps, la province de Terre-Neuve étudie activement la possibilité d'implanter d'autres petites centrales au fil de l'eau pour répondre à la demande locale.

3.3.2 Impacts de l'aménagement hydroélectrique

Outre la perte évidente d'habitats terrestres causée par la construction de barrages et de réservoirs, les projets hydroélectriques ont d'autres impacts liés à l'érosion du sol et aux corridors de transport.

Dans l'écozone du Bouclier boréal, les aménagements hydroélectriques provoquent souvent l'érosion des rives et l'affouillement du lit des cours d'eau. Le type de sol, la superficie relative des terres inondées et l'ampleur des fluctuations des niveaux d'eau influent sur la gravité de l'érosion et la perte de sol (Environnement Canada et Pêches et Océans Canada, 1992a). Ainsi, dans les régions sensibles au pergélisol discontinu du nord du Manitoba, la hausse marquée du niveau de l'eau du lac South Indian et des rivières Rat et Burntwood a provoqué l'érosion à grande échelle des rives et l'effondrement du thermokarst (voir les photos).

Les lignes de transport qui partent des centrales hydroélectriques empruntent des corridors coupés à blanc dans la forêt ou traversent des milieux humides. Leur présence peut amoindrir le caractère sauvage des régions éloignées, notamment lorsque ces lignes forment de longues et larges cicatrices sur des terres non perturbées. Le meilleur accès procuré aux chasseurs par ces corridors de transport pourrait être corrélé à l'épuisement de populations fauniques locales. De plus, maints corridors sont traités à l'aide d'herbicides chimiques qui peuvent avoir des incidences locales sur les chaînes trophiques.

Photo : John Wood, 1990

Effondrement des rives du lac South Indian dû au dégel du pergélisol

Photo : John Wood, 1990

Rive inondée du lac South Indian

Les aménagements hydroélectriques ont plusieurs types d'impacts sur les écosystèmes aquatiques. Par exemple, l'augmentation du volume d'eau causée par l'inondation des vallées fluviales et la création de réservoirs favorisent souvent la dispersion des espèces existantes, ce qui a pour effet de modifier la compétition et la prédation. Les touladis et les ombles de fontaine peuvent déserter les réservoirs de retenue par suite notamment de la hausse du niveau de l'eau, qui a des effets préjudiciables sur leurs frayères (Deslandes *et al.*, 1994). La dérivation de cours d'eau peut entraîner une forte turbidité attribuable à l'augmentation du débit et à l'érosion des berges. Ainsi, la dérivation de la rivière Churchill a fait augmenter le débit du fleuve Nelson d'environ 37 % (Wood, comm. pers., 1997). De fortes charges solides ont même fait tripler la turbidité, ce qui a affecté la santé et l'abondance des populations de corégones et de brochets en aval (Bodaly *et al.*, 1984; Environnement Canada et Pêches et Océans Canada, 1992b).

La submersion de la matière organique dans les réservoirs entraîne le rejet du mercure présent à l'état naturel, ce qui peut avoir des effets toxiques sur les chaînes alimentaires aquatiques et terrestres (Bodaly *et al.*, 1984; Rudd, 1995; St. Louis *et al.*, 1995). Le mercure inorganique provenant de sources naturelles ou de dépôts atmosphériques se combine à la matière organique submergée et est transformé en méthylmercure par l'activité microbienne. Les poissons prédateurs sont particulièrement vulnérables à l'accumulation de méthylmercure dans leurs tissus.

L'inondation d'un vaste territoire entraîne également le rejet de quantités importantes de dioxyde de carbone et de méthane, deux substances qui contribuent au réchauffement climatique. Les résultats d'études effectuées dans la région des lacs expérimentaux du nord-ouest de l'Ontario ont révélé que la décomposition de la végétation palustre submergée occasionne le rejet d'une grande quantité de ces deux gaz dans l'atmosphère (Kelly *et al.*, 1997). Une fois submergés, ces milieux humides, qui agissaient auparavant comme puits et absorbaient 6,6 g/m² de carbone par année, se sont transformés en sources de carbone, libérant 130 g/m² de ce gaz par année. Les futurs projets hydroélectriques dans le Bouclier boréal se dérouleront fort probablement dans des milieux humides, car la plupart des régions de canyon ont déjà été aménagées. Par conséquent, les sources de carbone pourraient se multiplier dans l'écozone.

En raison d'une surveillance inadéquate, nombre de ces impacts sont encore mal compris, notamment la dynamique de la libération du mercure après la construction d'un réservoir. L'étude comparée de réservoirs hydroélectriques affichant des concentrations élevées de mercure avec d'autres où les teneurs sont plus faibles révèle que certaines régions de l'écozone du Bouclier boréal semblent plus sensibles au mercure. Dans les réservoirs du nord du Manitoba et de l'Ontario et dans ceux du Labrador, les concentrations de mercure sont généralement plus élevées que dans ceux de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick, du sud du Manitoba et de la Colombie-Britannique (Gouvernement du Canada, 1996).

Les projets d'aménagement hydroélectrique ont particulièrement affecté le mode de vie traditionnel des peuples autochtones de l'écozone, qui vivent, chassent et se déplacent le long des cours d'eau et des lacs (Environnement Canada et Pêches et Océans Canada, 1992b). Les fluctuations anormales du niveau de l'eau associées à ces projets nuisent aux activités de pêche et de chasse de subsistance. Elles ont été directement corrélées au déclin des populations locales de poissons et de sauvagine que les Autochtones avaient coutume d'exploiter (EIP, 1997a). Le piégeage sur les rivages est moins fructueux lorsque les niveaux de l'eau sont élevés. Les pièges tendus par les Autochtones sont submergés ou, dans certains cas, entraînés loin du rivage par la baisse du niveau de l'eau. À l'instar des corridors de transport de l'hydroélectricité, la construction de routes d'accès associée à la construction de barrages a ouvert des régions autrefois inaccessibles à la population non autochtone et a avivé la concurrence pour la faune entre les pêcheurs et les chasseurs sportifs. Au cours des 15 dernières années, les populations d'orignaux et d'autres espèces de gibier ont connu des déclins soudains de leurs effectifs qui ont été corrélés à l'accès accru lié aux projets hydroélectriques (EIP, 1997a). Chez la nation des Cris d'Eeyou Istchee du Québec, la situation a empiré à un point tel que les Cris envisagent d'invoquer le traité qu'ils ont signé pour se prévaloir de droits préférentiels sur les populations d'orignaux et interdire la chasse sportive pour tenter de protéger leur accès traditionnel à l'orignal (Quaile, comm. pers., 1998).

Nombre d'Autochtones ont beaucoup réduit leur consommation de poisson en raison de l'augmentation, réelle ou perçue, de la contamination par le mercure associée aux aménagements hydroélectriques. Cette modification du régime alimentaire pourrait entraîner des problèmes d'obésité et de diabète chez les populations autochtones qui substituent des aliments moins nutritifs au poisson (EIP, 1997a). Les activités hydroélectriques influent aussi sur les routes traditionnellement empruntées par les Autochtones. Ces routes peuvent être inondées ou sectionnées, rendant tout déplacement impossible. La navigation peut également devenir périlleuse en raison de la présence de souches et de billes abandonnées dans les régions inondées. Pendant l'hiver, les fluctuations du niveau de l'eau ont provoqué ici et là un amincissement de la couverture de glace, empêchant les Autochtones d'emprunter certaines routes traditionnelles en motoneige (EIP, 1997b).

3.3.3 Aménagement hydroélectrique

L'atténuation des répercussions socioéconomiques des projets hydroélectriques sur les peuples autochtones est une question omniprésente dans l'écozone du Bouclier boréal. Ainsi, la Saskatchewan Power, la compagnie d'électricité de cette province, poursuit ses négociations avec la nation crie de Peter Ballantyne et la collectivité de Sandy Bay au sujet des impacts liés à la centrale hydroélectrique d'Island Falls. À ce jour, aucune entente entre les parties n'est intervenue (SERM, 1999).

La vie utile de nombreux grands projets hydroélectriques dans le Bouclier boréal tire peut-être à sa fin. La moitié des barrages sont âgés d'au moins 40 ans et les deux tiers de ceux de l'Ontario ont plus de 50 ans. Un nombre croissant d'installations devront bientôt faire l'objet d'une révision majeure. La mise à niveau de la puissance de certaines centrales hydroélectriques plus âgées de l'écozone s'accompagnera peut-être de l'implantation de technologies améliorées qui réduisent les impacts sur l'environnement. Ainsi, les traversées des turbines hydroélectriques de la centrale d'Island Falls, en Saskatchewan, qui entrent directement en contact avec l'eau ont été remplacées par des traversées qui n'exigent pas de lubrification afin d'empêcher le rejet de graisses dans la rivière Churchill (SERM, 1999). Toutefois, en raison de l'âge des installations hydroélectriques, les grandes sociétés effectuent rarement, voire jamais, de suivi des effets des barrages existants sur l'environnement. L'entretien à long terme et la remise en état des barrages vieillissants constituent des préoccupations environnementales nouvelles qui n'ont pas encore fait l'objet d'un examen scientifique ou politique adéquat par les gouvernements provinciaux.

L'histoire des grands projets hydroélectriques dans le Bouclier boréal est émaillée de nombre de questions environnementales. Tant que les services publics d'hydroélectricité et les gouvernements provinciaux n'accorderont pas une priorité plus élevée à la surveillance des écosystèmes, aux évaluations a posteriori et à la recherche fondamentale, nombre de ces questions resteront sans réponse. Les avantages que de telles activités pourraient offrir pour les projets futurs dans la région et ailleurs pourraient être perdus.

3.4 Autres utilisations du territoire

3.4.1 Exploitation des tourbières

Les conditions climatiques et physiques qui règnent dans la majeure partie de l'écozone du Bouclier boréal sont favorables à l'accumulation de tourbe — mousses et autres matières végétales partiellement décomposées associées à des sols acides et engorgés d'eau. De vastes étendues sont occupées par des marais, des tourbières oligotrophes et minérotrophes, des marécages et d'autres milieux humides partiellement arborés qui reposent en grande partie sur de la tourbe. Le taux d'accumulation du carbone peut atteindre jusqu'à 1 à 2 mm par année dans certains endroits tourbeux, pour une accumulation annuelle approximative de 14 millions de tonnes à l'échelle du pays (Tarnocai, comm. pers., 1998).

Outre les questions liées au stockage du carbone, la perturbation des milieux humides soulève maintes autres préoccupations écologiques, comme la protection de l'habitat faunique et des espèces végétales rares ou inusitées. Ces enjeux retiennent de plus en plus l'attention de la population dans toute l'écozone, compte tenu de l'intensification des pressions exercées sur ces milieux par diverses utilisations des terres.

Les projets hydroélectriques ont été la principale cause de la dégradation ou de la destruction des milieux humides dans l'écozone du Bouclier boréal. Au cours des 40 dernières années, 900 000 ha de tourbières ont été inondés par la mise en eau de réservoirs hydroélectriques qui a eu d'autres impacts sur les milieux humides côtiers et estuariens situés en aval. Pratiquement tous ces changements se sont produits dans l'écozone du Bouclier boréal. Les projets de réservoir actuels pourraient affecter un million d'hectares supplémentaires de milieux humides d'ici l'an 2010.

Chaque année, environ 18,4 millions d'hectares de tourbières boisées sont exploités, dont une grande partie se trouve dans l'écozone du Bouclier boréal (Dahl et Zoltai, 1996). La valeur annuelle des produits forestiers tirés de ces tourbières pourrait dépasser les 500 millions de dollars (Rubec *et al.*, 1988). Au cours des 20 dernières années, quelque 25 000 ha de tourbières ont été drainés en vue de favoriser la croissance des arbres et l'exploitation forestière. La plupart de ces activités sont maintenant menées dans des régions expérimentales ou dans le cadre de projets de démonstration. Des projets pilotes d'exploitation forestière des tourbières de l'Alberta, du nord de l'Ontario, de l'est du Québec et de Terre-Neuve servent à évaluer l'assèchement des tourbières en tant qu'outil d'aménagement forestier. Une telle pratique n'est pas encore courante dans l'écozone. Toutefois, plusieurs millions d'hectares de tourbières boisées sont déjà récoltés chaque année, souvent avec peu ou pas de suivi des impacts sur la faune, sur la régénération forestière ou sur l'hydrologie (Chambers, comm. pers., 1998).

L'extraction de la tourbe est une industrie horticole en plein essor en Amérique du Nord. Environ 16 000 ha servent à la production de tourbe horticole ou de produits de tourbe de mousse (Keys, 1992). Plus de 200 millions de dollars de produits de tourbe sont commercialisés chaque année. En 1997, le Canada comptait environ 70 producteurs de tourbe horticole, les plus importants étant établis dans le sud et le sud-est de l'écozone du Bouclier boréal, notamment au Québec et à Terre-Neuve. L'industrie canadienne de la tourbe travaille en étroite collaboration avec les chercheurs des universités et des organismes des gouvernements fédéraux et provinciaux pour appuyer la remise en état des tourbières d'où est extraite la tourbe horticole. Ces sites sont assez

peu nombreux, et les ressources en tourbe de l'écozone du Bouclier boréal ne sont actuellement pas menacées.

Au Canada, la tourbe n'est à peu près pas utilisée comme combustible. Toutefois, la possibilité d'implanter des centrales alimentées à la tourbe est toujours à l'étude, notamment à Terre-Neuve. La mise en oeuvre de tels plans nécessiterait la production de volumes énormes et sans précédent de tourbe. L'utilisation de la tourbe à des fins de production d'énergie pourrait aggraver les problèmes liés à l'augmentation des concentrations atmosphériques de carbone et à la pollution de l'air par les matières particulaires.

Parallèlement à l'intensification des pressions exercées par les diverses utilisations des terres sur les tourbières, la population se mobilise et exige de plus en plus que les milieux humides du Bouclier boréal fassent l'objet d'une gestion plus concertée et coordonnée (Chambers, comm. pers., 1998). À cette fin, le Cabinet fédéral a officiellement adopté en décembre 1991 la *Politique fédérale sur la conservation des terres humides*. En 1996, un guide de mise en oeuvre à l'intention des gestionnaires des terres fédérales a été publié. Les provinces de l'Alberta, de la Saskatchewan, du Manitoba et de l'Ontario ont adopté leurs propres politiques sur les milieux humides.

3.4.2 Construction de chalets

Au cours des 30 dernières années, la construction de milliers de chalets autour des lacs de l'écozone du Bouclier boréal et la demande de lotissements sur les terres de la Couronne ont suscité de vives inquiétudes dans la population qui se préoccupe de l'eutrophisation des lacs à vocation récréative. Ce problème a été particulièrement aigu en Ontario, où l'élimination des eaux usées provenant des lotissements riverains constitue un enjeu important.

Un autre problème fort répandu est le « nettoyage » des berges par les propriétaires de chalets qui enlèvent les macrophytes enracinés dans l'eau ou les plantes aquatiques qui s'accrochent fréquemment aux hélices des bateaux et nuisent aux nageurs. Ces communautés végétales offrent souvent des habitats essentiels à de nombreuses espèces d'invertébrés et de poissons qui y élèvent leur progéniture et s'y alimentent. L'élimination de la végétation riveraine peut entraîner la diminution des populations locales de macrophytes et perturber la chaîne trophique du milieu aquatique. Dans le cadre d'une étude de surveillance des rives menée dans la région des lacs expérimentaux, dans le nord-ouest de l'Ontario, on évalue actuellement les incidences de l'élimination de 50 % de la biomasse de macrophytes sur le grand brochet. Les résultats recueillis pendant deux ans montrent que les populations de grand brochet et de plusieurs espèces de proie, comme la perchaude et le crapet-soleil, ont considérablement diminué (Mills, comm. pers., 1997). Il faudra effectuer d'autres études pour mieux comprendre tous les impacts sur l'environnement du développement récréotouristique dans l'écozone du Bouclier boréal.

En 1996, à la suite de modifications apportées à la *Loi sur l'aménagement du territoire* de l'Ontario, les planificateurs municipaux des ressources se sont vu conférer des pouvoirs accrus en matière d'autorisations environnementales propres à un site. Ce transfert de responsabilité du provincial au municipal a rendu nécessaire l'élaboration de lignes directrices claires pour aider les collectivités rurales à gérer le développement des secteurs riverains lacustres situés dans la portion ontarienne du Bouclier boréal. Les lignes directrices proposées par le ministère de l'Environnement fournissent de meilleurs critères techniques d'évaluation des possibilités des secteurs riverains ainsi que des

objectifs révisés de qualité de l'eau pour mieux lutter contre la pollution issue des lotissements de chalets.

3.4.3 Aires protégées

Bien que l'écozone du Bouclier boréal soit la plus vaste des 15 écozones terrestres du Canada, la proportion des aires protégées soustraites à toute forme d'activité industrielle est très faible, soit 3 % du territoire (voir la figure 4). Environ 5 % de l'écozone renferme d'autres aires protégées où l'exploitation forestière et minière et d'autres activités sont autorisées.

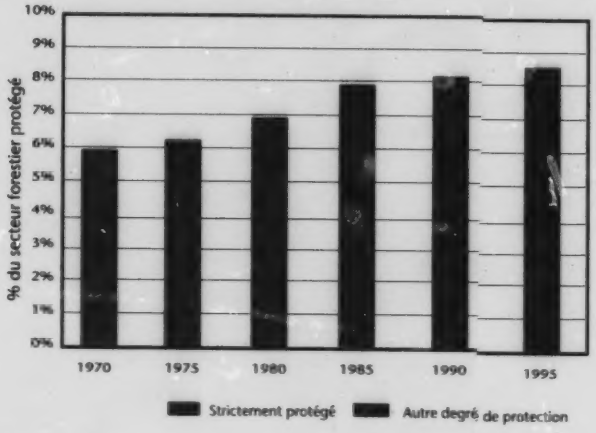


Figure 4. Superficie du secteur forestier protégé dans l'écozone du Bouclier boréal, 1970–1995

Source : Environnement Canada, 1997.

Dans une écozone aussi vaste soumise à de si nombreuses agressions environnementales, la faible proportion du territoire faisant l'objet d'une protection intégrale est loin d'être suffisante pour protéger des aires représentatives, fournir des repères écologiques, préserver des zones d'intérêt biologique unique et garantir aux générations futures un accès à des aires de nature sauvage (Kronberg, comm. pers., 1998). La nécessité d'établir des couloirs naturels protégés à des fins de conservation de l'habitat et des eaux d'amont est une préoccupation particulière aux régions du Bouclier boréal soumises à des activités forestières à grande échelle (Chambers, comm. pers., 1998; Mclaughlan, comm. pers., 1998).

Pour inciter la population à participer davantage à la planification des aires protégées, l'Ontario et la Saskatchewan ont adopté des programmes d'affectation des terres qui prévoient notamment la mise sur pied de groupes consultatifs locaux et régionaux qui contribueront à la sélection et à la gestion des parcs. Le programme « Des terres pour la vie » est le plus vaste et le plus ambitieux processus de consultation publique jamais entrepris en Ontario au sujet de la planification de l'aménagement du territoire (Des terres pour la vie, 1998). Au cours de l'été 1997, trois tables rondes multisectorielles régionales ont été mises sur pied, dont deux se sont intéressées exclusivement aux régions du Bouclier boréal. Chaque table ronde, dont le mandat était de dispenser des conseils sur la préparation d'une stratégie régionale en matière d'utilisation du territoire, a donné son avis sur la désignation de terrains au titre de parcs et d'aires protégées ainsi que sur d'autres utilisations des terres, notamment à des fins touristiques et forestières. Parachevé en octobre 1998, le rapport final des tables rondes contient de nombreuses recommandations pour

aider le gouvernement de l'Ontario à tenir son engagement de compléter son réseau de parcs et d'aires protégées.

La Saskatchewan a mis sur pied des groupes consultatifs locaux sur les parcs, comme celui sur le parc provincial Lac La Ronge situé dans l'écozone du Bouclier boréal (SERM, 1997). Dans le cadre du processus de planification de la gestion intégrée de l'utilisation des terrains forestiers en cours dans la région d'Amisk-Atik en Saskatchewan, des groupes consultatifs communautaires et locaux formuleront des recommandations sur l'utilisation du territoire, y compris la protection de terres et d'étendues d'eau d'intérêt spécial (SERM, 1999).

Bien que la nécessité de parachever des réseaux d'aires protégées dans cette écozone soit largement reconnue (Conseil canadien des ministres des Forêts, 1992), les pressions exercées par la mise en valeur des ressources freinent l'atteinte de cet objectif. Ainsi, en dépit des progrès considérables accomplis par le programme ontarien « Des terres pour la vie », les sociétés d'exploitation forestière et minière tentent toujours d'avoir un plus grand accès aux parcs provinciaux existants (McAndrew, 1998). Plusieurs estiment que l'intégration d'un réseau élargi d'aires protégées à des pratiques d'aménagement du territoire progressives et respectueuses de l'environnement constitue la clé pour préserver la biodiversité à l'échelle de l'écozone (Booth *et al.*, 1993; Thompson et Welsh, 1993; Gauthier *et al.*, 1996; Martin, 1996).

Les principales sources de nombreux facteurs d'agression qui affectent le Bouclier boréal sont situées hors de l'écozone et même, dans certains cas, dans d'autres continents. Au nombre des principaux facteurs, mentionnons le changement climatique, les précipitations acides, l'accroissement du rayonnement ultraviolet et le transport à grande distance des polluants atmosphériques. Malgré leur origine lointaine, ces facteurs représentent une menace considérable pour l'intégrité écologique du Bouclier boréal. Selon l'écologiste David Schindler, qui étudie l'évolution des écosystèmes du Bouclier boréal depuis près de 30 ans, « quand on considère les effets combinés du réchauffement climatique, des retombées acides, de l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique et des autres activités humaines, le paysage boréal est peut-être l'une des écorégions du globe qui connaîtra le plus de changements au cours des prochaines décennies. Nos descendants connaîtront certainement un paysage boréal très différent de celui qui existe aujourd'hui. » (Schindler, 1998) [Traduction].

Grâce aux projets de recherche et de surveillance à long terme entrepris ces dernières années, les scientifiques et les gestionnaires des ressources commencent enfin à réaliser l'ampleur et la portée véritables des pressions régionales et planétaires qui s'exercent sur cette écozone. Il est capital de poursuivre ces études afin d'acquérir les fondements scientifiques nécessaires pour mieux comprendre les graves menaces qui pèsent sur l'écozone et proposer des mesures d'aménagement appropriées.

4 Facteurs externes d'aggression environnementale

4.1 Changement climatique

En l'espace de seulement deux siècles, l'intensification des activités humaines a entraîné une hausse de 30 % des concentrations de dioxyde de carbone atmosphérique. L'utilisation de combustibles carbonés et l'altération à l'échelle planétaire des forêts et des tourbières jouant le rôle de mégaréservoirs de carbone sont en très grande partie responsables de cette augmentation. L'augmentation des concentrations de carbone atmosphérique s'accompagne d'une hausse de l'absorption du rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre. L'absorption accrue de cette source d'énergie a déjà provoqué des augmentations mesurables des températures moyennes sur toute la planète. Le réchauffement généralisé du climat et d'autres changements climatiques devraient se poursuivre au moins jusqu'au milieu du prochain siècle (Stewart, 1996).

Plusieurs modèles atmosphériques donnent à croire que le réchauffement le plus subit et le plus marqué surviendra dans les régions septentrionales et que ce sont les forêts et les milieux humides boréaux qui, de tous les principaux écosystèmes du monde, sont les plus menacés par le changement climatique (Woodwell *et al.*, 1995). De nombreuses caractéristiques distinctives de cet écosystème, dont la productivité végétale, le stockage du carbone, l'entomofaune, l'hydrologie et les habitats du poisson, sont étroitement liées au climat. Des études de surveillance environnementale réalisées en divers endroits du Bouclier boréal portent à croire que les changements climatiques en cours sont en voie d'altérer de façon significative bon nombre de ces indicateurs. Cet assemblage complexe de changements risque de perturber considérablement le fonctionnement des communautés et des écosystèmes du Bouclier boréal (Schindler, 1998).

S'appuyant sur des données obtenues par satellite entre 1981 et 1991, Myneni *et al.* (1997) ont montré que la productivité végétale s'est accrue entre les 45° et 79° degrés de latitude nord dans les régions présentant une augmentation nette des températures printanières. Ces chercheurs ont utilisé un indice de végétation pour mesurer les changements d'absorption du rayonnement photosynthétiquement utilisable. L'augmentation la plus spectaculaire a été observée dans les régions boréales du nord-ouest, dont une large portion du Bouclier boréal. Ces changements sont survenus environ trois ans après la hausse des températures de l'air. Cette étude donne à entendre

que même un faible réchauffement pourrait entraîner une intensification marquée de l'activité biologique, en particulier de la croissance des plantes et de la décomposition de la litière.

De nombreux lacs et cours d'eau du Bouclier boréal ont déjà subi des modifications sous l'influence du changement climatique. Des analyses de la glace de certains lacs du nord-ouest de l'Ontario compris dans l'écozone du Bouclier boréal, dans le nord-ouest de l'Ontario, ont indiqué que la durée annuelle de la couverture de glace a été plus courte pendant la majeure partie des années 1970 et 1980. Par la suite, cette durée a fluctué considérablement d'une année à l'autre (figure 5) (Dillon, comm. pers., 1997; Shearer, comm. pers., 1998). Schindler *et al.* (1990) ont étudié les effets du réchauffement climatique dans la région des lacs expérimentaux de l'Ontario entre 1970 et 1990. Durant ces deux décennies, la température moyenne annuelle de l'air a augmenté de 1,6 °C, le volume des précipitations a diminué d'environ 40 %, l'évapotranspiration s'est accrue de près de 50 %, des incendies de forêt récurrents ont éliminé une proportion importante de la matière organique du sol, et la vitesse des vents s'est intensifiée, vraisemblablement par suite de la dénudation du paysage provoquée par des feux intenses. Schindler, ainsi que d'autres chercheurs (Snucins et Gunn, 1995; Dillon et Molot, 1997), ont observé les changements suivants dans les lacs et les cours d'eau du Bouclier boréal :

- Réduction des débits (figure 6) et, par conséquent, du volume des substances chimiques charriées des bassins hydrographiques vers les lacs, en particulier de carbone organique dissous (COD) et de phosphore, deux éléments occupant une place essentielle dans les chaînes trophiques. Dans le cas du phosphore, des baisses des concentrations totales allant jusqu'à 40 % ont été enregistrées dans le cadre d'une étude entre 1978 et 1983 (Dillon et Molot, 1997).
- Diminution de l'abondance du phytoplancton dans les lacs ayant subi un appauvrissement en phosphore.
- Augmentation de la transparence de l'eau résultant essentiellement de la réduction des teneurs en COD et, par voie de conséquence, pénétration accrue du rayonnement UVB.
- Utilisation accrue des refuges thermiques (p. ex. écoulements souterrains) par le touladi et d'autres poissons d'eau froide.
- Augmentation de la profondeur des thermoclines et diminution consécutive des habitats convenant aux invertébrés et poissons d'eau froide.
- Accumulation accrue des dépôts acides dans la neige en hiver et réduction du pH durant la fonte des neiges au printemps.
- Réacidification des cours d'eau provoquée par la baisse des niveaux d'eau des bassins hydrographiques et, par voie de conséquence, oxydation accrue du soufre conduisant à la production de sulfates.

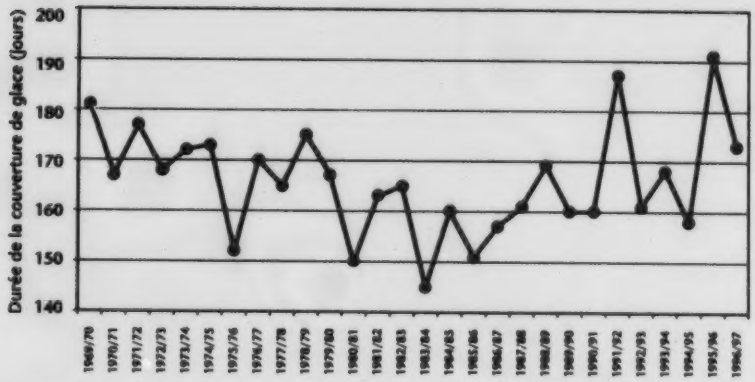


Figure 5. Durée annuelle de la couverture de glace, lac 239, région des lacs expérimentaux de l'Ontario, 1969–1970 à 1995–1996

Source : Shearer, comm. pers., 1998.

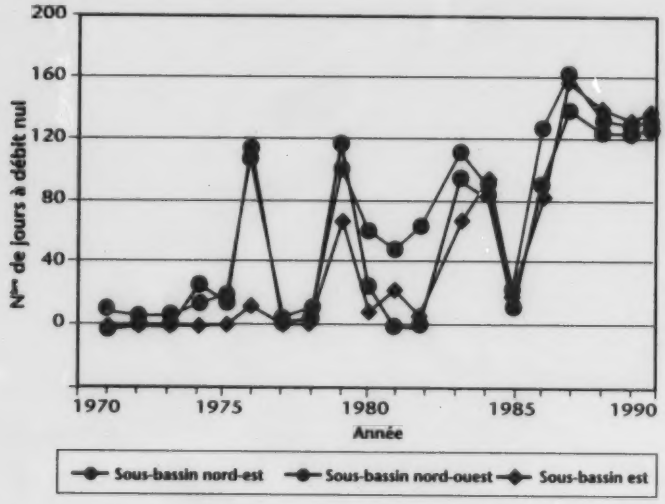


Figure 6. Réduction des débits dans la région des lacs expérimentaux du nord-ouest de l'Ontario

Source: Schindler, 1998.

Collectivement, ces résultats portent à croire que de nombreux lacs et cours d'eau du Bouclier boréal ont déjà subi de profondes transformations sous l'influence du changement climatique. Les répercussions écologiques et économiques éventuelles de ces changements demeurent largement méconnues, mais elles retiennent actuellement l'attention de plusieurs groupes de chercheurs (Schindler, 1998).

Selon Fleming et Candau (1998), le changement climatique agit non seulement sur les systèmes aquatiques, mais aussi sur le cycle de vie, le comportement et la répartition de nombreuses espèces d'insectes boréaux. Plusieurs autres chercheurs ont également observé de nombreux changements dans la composition de communautés arborescentes à la suite d'infestations associées à des hausses

de température (Jardon *et al.*, 1994; Daniels et Myers, 1995). Fleming et Volney (1995) ont noté qu'au cours des 25 dernières années, la tordeuse des bourgeons de l'épinette s'est adaptée à l'augmentation nette des températures en amorçant sa période de vol trois à sept jours plus tôt dans l'année. L'aire de répartition de la plupart des insectes boréaux est déterminée par des seuils thermiques inférieurs. Le puceron lanigère du sapin, par exemple, ne peut survivre à des températures inférieures à -34 °C. Selon Shaw (1997), ce facteur de régulation climatique pourrait disparaître dans certaines régions si les tendances climatiques actuelles se maintiennent. Si ce scénario se confirme, les infestations par ces insectes se prolongeront plus longtemps et séviront sur des territoires plus vastes.

L'incidence des changements climatiques futurs sur le stockage et le cycle du carbone dans les forêts du Bouclier boréal constitue une source de préoccupation importante. Le bilan du carbone de ces forêts n'est pas stable mais fluctue d'une année à l'autre, en fonction de la productivité et des perturbations causées par les incendies, les insectes, les maladies et l'exploitation forestière. Par ailleurs, la répartition selon l'âge des forêts influe considérablement sur les quantités de carbone qui s'y trouvent. Dès lors, il faut tenir compte du moment et de la fréquence des perturbations pour déterminer si les forêts du Bouclier boréal sont des puits ou des sources de carbone atmosphérique.

Après avoir étudié les nombreux facteurs complexes qui influent sur le cycle du carbone à l'échelle de l'écozone du Bouclier boréal, Stewart *et al.* (1997) ont indiqué que même en faisant abstraction du rôle joué par le changement climatique, les fortes perturbations qui ont marqué les années 1970 à 1990 ont entraîné une perte nette de carbone des forêts boréales vers l'atmosphère. S'appuyant sur les scénarios de changement climatique actuels, ces auteurs estimaient que cette tendance allait se maintenir au cours du prochain siècle, la capacité de régénération naturelle des forêts étant insuffisante pour compenser les effets dévastateurs des perturbations naturelles et anthropiques.

Le choix de la ligne de conduite à suivre en réponse aux effets du changement climatique dans l'écozone du Bouclier boréal est une question qui doit préoccuper tous les aménagistes. Pour établir quelles modifications doivent être apportées à nos pratiques de gestion forestière, il faut surveiller attentivement l'évolution des forêts afin de caractériser les effets du changement climatique et de déterminer si des seuils justifiant l'apport de tels ajustements ont déjà été atteints. Seule une surveillance accrue de la dynamique du carbone, un financement adéquat et un fort soutien du gouvernement et de l'industrie permettront de faire une différence positive à long terme.

4.2 Précipitations acides

Les précipitations acides causées par les émissions anthropiques d'oxydes de soufre et d'azote dans l'atmosphère ont gravement perturbé les écosystèmes dans tout l'est de l'Amérique du Nord. Dans la seule région boréale du Canada, des milliers de populations de poissons et probablement des millions de populations d'invertébrés sont disparues (Schindler, 1998). Du fait de leur faible pouvoir tampon, les lacs de la moitié est du Bouclier boréal sont particulièrement sensibles à l'acidification (Minns *et al.*, 1990). Les déséquilibres chimiques engendrés par les précipitations acides peuvent avoir des effets dévastateurs sur les lacs sensibles de cette écozone. Lorsque le pH d'un lac s'abaisse sous le seuil de 5,5, les populations de plusieurs espèces aquatiques peuvent commencer à décliner

ou même disparaître complètement, altérant ainsi de manière significative les chaînes trophiques dont elles constituent un maillon (figure 7). À un pH de 5,0, la reproduction de la plupart des espèces de poissons du Bouclier boréal est complètement inhibée. Dans les lacs encore plus acides, le biote est dominé par quelques espèces d'algues, de bactéries et d'insectes tolérant l'acidité. Certaines de ces espèces d'algues (p. ex. l'algue verte filamenteuse *Zygogonium* sp.) peuvent souiller les plages et les autres habitats côtiers, réduisant leur valeur récréative et perturbant davantage les assemblages naturels d'espèces qui y vivent.

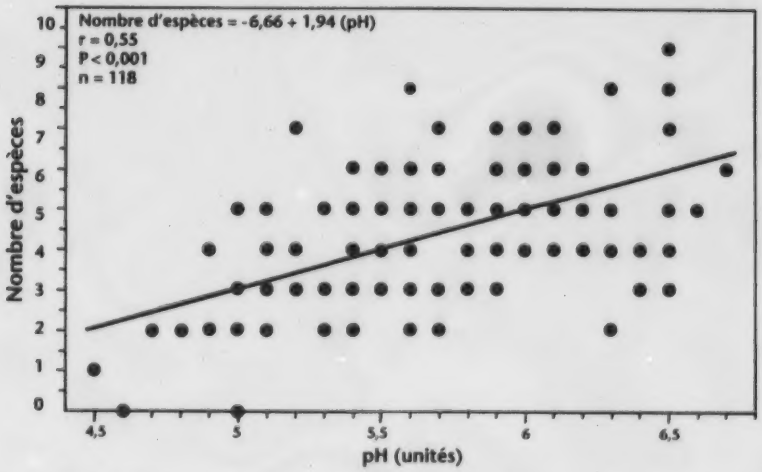


Figure 7. Relation entre le nombre d'espèces de poissons et le pH dans 118 lacs des régions de l'Outaouais et de l'Abitibi (Québec)

Source : Jeffries, 1997.

Des études récentes effectuées dans des lacs du Bouclier boréal ont indiqué que l'acidification (chute du pH) peut amplifier les problèmes de contamination par le mercure chez certaines espèces boréales de poissons (Scheuhammer et Blancher, 1994; McNicol *et al.* 1997). En plus de restreindre la consommation humaine de poisson, la présence de fortes concentrations de mercure peut entraver la reproduction des oiseaux piscivores, en particulier du plongeon huart. Les oiseaux piscivores seraient ainsi menacés dans 30 % des lacs de l'Ontario sensibles aux acides.

L'acidification des lacs est non seulement associée à la contamination par le mercure, mais aussi à l'élévation des concentrations de cadmium et de plomb dans le poisson (Scheuhammer, 1996). La baisse du pH peut également entraîner une perte de COD dans les eaux de surface (figure 8). Des réductions des concentrations de COD allant jusqu'à 95 % ont été observées dans certains lacs acidifiés. Cet appauvrissement s'accompagne d'une augmentation de la pénétration du rayonnement solaire et d'un bouleversement de la stratification thermique (Schindler, 1998). De tels changements peuvent avoir de profondes répercussions, étant donné le rôle essentiel joué par le COD dans le fonctionnement normal des écosystèmes du Bouclier boréal : catalyse des chaînes trophiques microbiennes, réduction du rayonnement solaire photosynthétiquement actif, protection réduite contre les effets nocifs du rayonnement UVB et participation à diverses autres réactions photochimiques importantes.

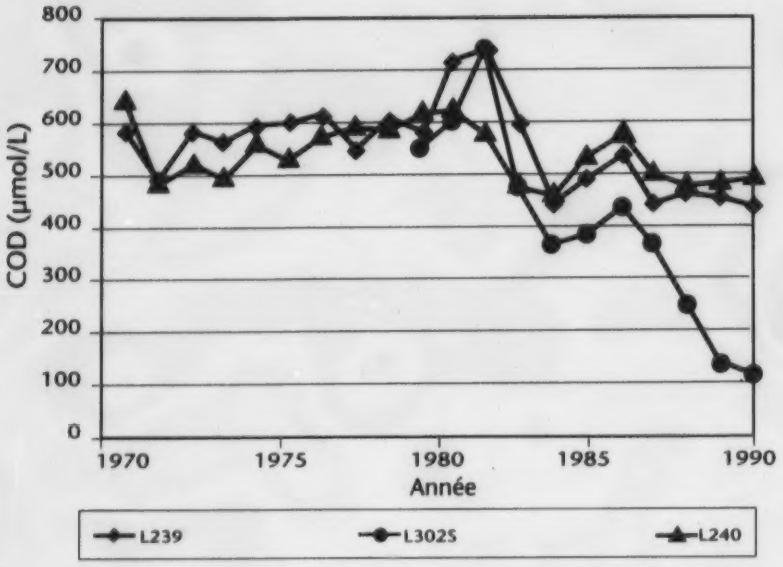


Figure 8. Fluctuations temporelles des concentrations moyennes annuelles de carbone organique dissous (COD) dans trois lacs de la région des lacs expérimentaux de l'Ontario

Source : Schindler, 1998.

Le rôle des dépôts acides dans le déclin des écosystèmes forestiers boréaux a été largement étudié (Gagnon *et al.*, 1994; McLaughlin *et al.*, 1996; Groupe de travail sur les émissions acidifiantes, 1997; Hall *et al.*, 1997). Les problèmes suivants figurent au nombre des effets les mieux connus des retombées acides :

- dommages causés à la cuticule protectrice des feuilles ou des aiguilles des arbres;
- réduction nette de l'activité photosynthétique, de l'absorption des éléments nutritifs et de l'accroissement en volume chez l'épinette rouge mûre;
- inhibition de la germination chez le bouleau à papier et l'érable à sucre;
- réduction de la résistance au gel des feuilles et des aiguilles;
- dépérissement grave de la cime chez l'érable à sucre;
- augmentation de la vulnérabilité aux perturbations climatiques;
- épuisement des éléments nutritifs du sol dans les forêts.

Ces effets représentent une menace extrêmement grave pour la santé écologique et économique du Bouclier boréal dans la mesure où ils peuvent, tant individuellement que collectivement, causer à long terme une réduction importante de la productivité et de la vigueur des forêts boréales. En outre, les forêts exposées aux retombées acides perdent peu à peu leur capacité de s'adapter au changement climatique et de résister aux sécheresses, aux infestations d'insectes, aux maladies, à l'intensification du rayonnement ultraviolet et à d'autres facteurs d'agression. Des déclins généralisés, des réductions de la croissance et une dégradation des sols ont été observés dans des régions du sud du Bouclier boréal (Jeffries, 1995; Arp *et al.*, 1996; Duchesne et Ouimet, 1996; Hopkin et Drummond, 1996; Houle *et al.*, 1997; Watmough et Hutchinson, 1998).

Des chercheurs ont fait appel à la dendrochronologie (examen des cernes d'accroissement annuel) pour évaluer les effets à long terme des retombées acides sur les forêts de feuillus du Bouclier boréal. Ryan *et al.* (1994) ont ainsi découvert qu'une réduction marquée de la croissance s'était produite vers 1960 dans des régions où le sol était sensible à l'acidification. À l'échelle du Bouclier boréal, les régions les plus durement touchées étaient situées dans le nord de l'Ontario (Hall *et al.*, 1997). L'application de cette approche dendrochronologique aux vastes pessières et pinèdes de l'écozone demeure à faire.

Il est essentiel de continuer de surveiller étroitement l'évolution des forêts afin d'être en mesure d'évaluer l'ampleur des altérations à long terme subies par les écosystèmes forestiers exposés aux retombées acides. Étant donné la complexité des processus potentiellement menacés (fertilité des sols, croissance et dynamique des forêts), il faut poursuivre les recherches et même, dans le cas de certaines approches comme la dendrochronologie, intensifier les efforts.

Le rôle des multiples sites de surveillance à long terme dans la détermination des charges critiques pour les retombées acides témoigne de leur valeur pratique et appliquée. Au cours des années 1980, un groupe de recherche mis sur pied en vertu de l'accord sur les pluies acides conclu en 1984 entre le Canada et les États-Unis a largement utilisé les données de terrain provenant de sites de surveillance à long terme des pluies acides. Le recours à divers indicateurs environnementaux a permis de mettre en évidence des dommages importants dus à l'acidification dans des sites sensibles aux dépôts acides recevant annuellement plus de 20 kg de dépôts humides de sulfates par hectare. En conséquence, la valeur de 20 kg/ha/an a été retenue comme norme générale de protection. Bien que la pertinence de ce seuil critique ait été confirmée par de nombreux modèles mathématiques, seule une comparaison des résultats d'un certain nombre de sites de surveillance sur place a permis de réfuter les objections des parties fortement opposées à l'idée de limiter les émissions de soufre. Dans ce cas précis, la comparaison a porté sur les données de 15 sites, dont un fort pourcentage était des stations du RESE établies depuis de nombreuses années en divers endroits du Bouclier boréal. Encore aujourd'hui, on se fonde sur ces données pour mettre à jour les seuils applicables aux retombées acides et conseiller les décideurs sur la nécessité de resserrer les mesures de contrôle des émissions. Par exemple, le Québec a récemment annoncé son intention de resserrer ses normes applicables aux émissions de dioxyde de soufre (Fenech, comm. pers., 1998).

Les mécanismes de réduction des émissions mis en place depuis 1980 ont permis de réduire de 53 % les concentrations de dioxyde de soufre atmosphérique dans les sept provinces de l'est du Canada. Ce pourcentage dépasse de 13 % l'objectif convenu (Environnement Canada, 1996a). À l'échelle du Bouclier boréal, des réductions additionnelles devraient être enregistrées une fois que les États-Unis auront parachevé les travaux prévus dans le cadre de l'étape II du projet de modification de la *Clean Air Act*, en 2010.

Les dépôts humides de sulfates ont diminué au cours des 15 dernières années. La superficie totale des régions du Canada recevant plus de 20 kg/ha par année a régressé de 46 % entre le début des années 1980 et le début des années 1990 (figure 9). Les changements induits par les mécanismes de réduction des émissions instaurés avant 1995 aux Etats-Unis ne sont pas encore connus. Toutefois, d'après les prédictions fournies par divers modèles, il semble qu'en 2010, lorsque toutes les dispositions contenues dans le programme américain de réduction des pluies acides seront en place, presque toutes les régions du Canada recevront annuellement moins de 20 kg/ha de dépôts humides de sulfates.

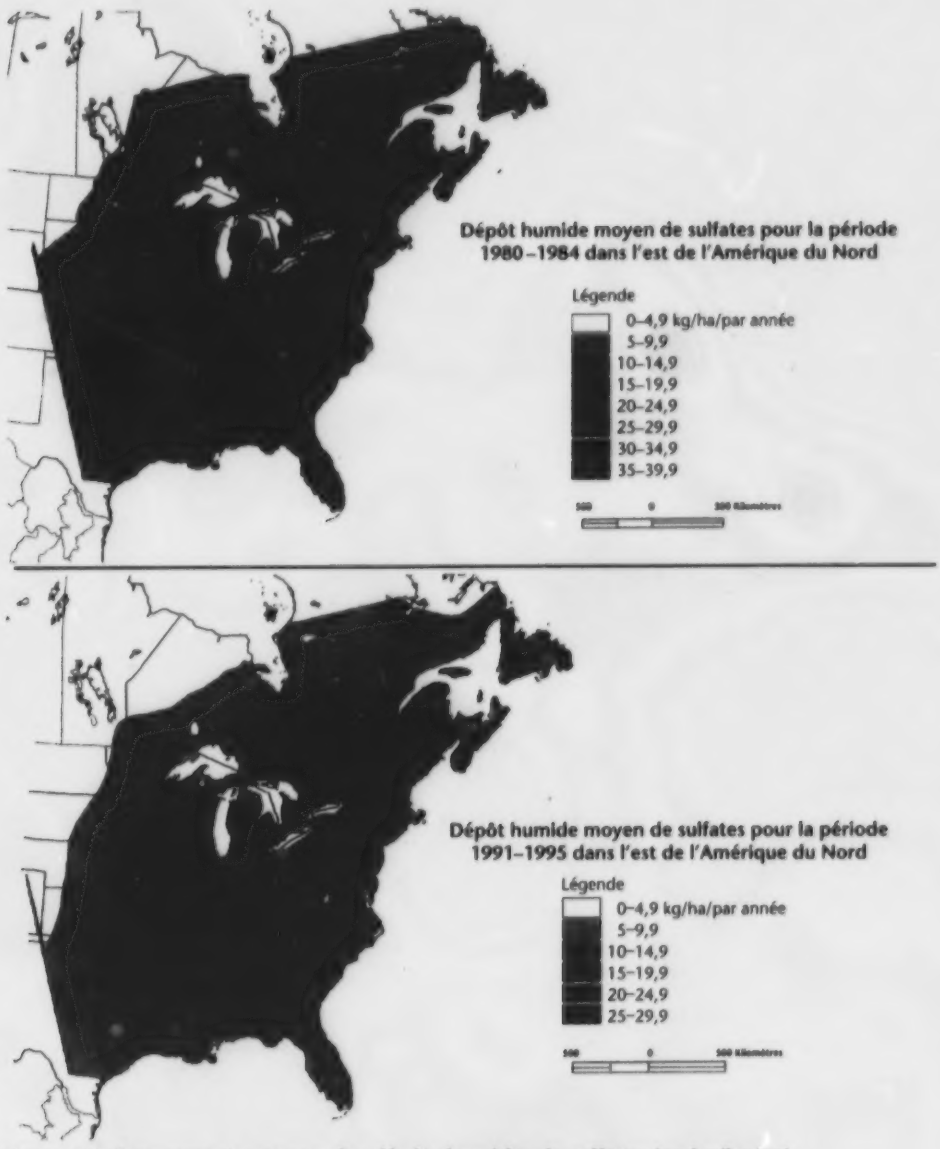


Figure 9. Dépassements moyens des dépôts humides de sulfates (en kg/ha/an), pour les périodes 1980–1984 et 1991–1995

Source : Environnement Canada, 1999a.

Dans le Bouclier boréal, les dépôts humides de sulfates et de nitrates oscillent actuellement entre 10 et 20 kg/ha/an, selon un gradient décroissant du sud au nord (Environnement Canada, 1996b). Bien que les dépôts de sulfates demeurent le principal agent acidifiant à l'échelle de l'écozone, l'acidification causée par les dépôts azotés est devenue une importante source de préoccupation, en particulier dans la portion sud-ouest de l'écozone. En effet, alors que les dépôts de sulfates ont diminué de manière significative entre 1980 et 1993, les dépôts de nitrates atmosphériques sont demeurés constants ou ont même légèrement augmenté au-dessus des régions boréales durant cette même période (Environnement Canada, 1996b). Le rôle des dépôts azotés dans l'acidification

des lacs du Bouclier boréal est mal compris. Ce sont les concentrations de nitrates qui fluctuent le plus d'une saison à l'autre, les valeurs maximales moyennes (~40 µeq/L) étant observées au printemps. Toutefois, en l'absence de mécanismes de neutralisation adéquats, les effets permanents de l'acidification causée par les dépôts azotés risquent d'annuler les gains écologiques que les récentes réductions des émissions de soufre atmosphérique pouvaient laisser présager. Si aucune réduction des émissions d'oxyde d'azote n'était prévue dans le cadre du Programme de lutte contre les pluies acides dans l'est du Canada, cet objectif pourrait figurer dans la Stratégie nationale sur les pluies acides.

La réduction nette des charges de dépôts acides sur le Bouclier boréal laisse-t-elle présager un redressement de la situation? Dans le bassin hydrographique des lacs Turkey, en Ontario, la diminution des dépôts de sulfates s'est traduite par une réduction des concentrations des cations de base dans les eaux de ruissellement et les cours d'eau (figure 10). Toutefois, parmi 152 lacs acidifiés étudiés entre 1981 et 1997 à Terre-Neuve, au Québec, en Nouvelle-Écosse et en Ontario, seulement 41 % sont devenus moins acides, 50 % ont conservé le même pH et 9 % sont devenus plus acides. Seule une faible proportion des lacs du Bouclier boréal présentent des signes encourageants de rétablissement, mais encore là, cette tendance ne s'est pas manifestée de façon homogène à l'échelle de l'écozone. Les progrès les plus spectaculaires ont été enregistrés dans la région de Sudbury (Ontario), après que les fonderies de métaux locales et les sources éloignées eurent réduit leurs émissions (Jeffries, 1997). De très nombreux lacs demeurent acides, et leur rétablissement complet repose sur de nouvelles réductions des émissions. Par exemple, des modèles des charges critiques pour des lacs du parc Killarney indiquent que pour assurer le rétablissement et la protection future de ces lacs, il faudra réduire encore d'au moins 50 % les émissions de sulfates par rapport aux normes réglementaires actuelles.

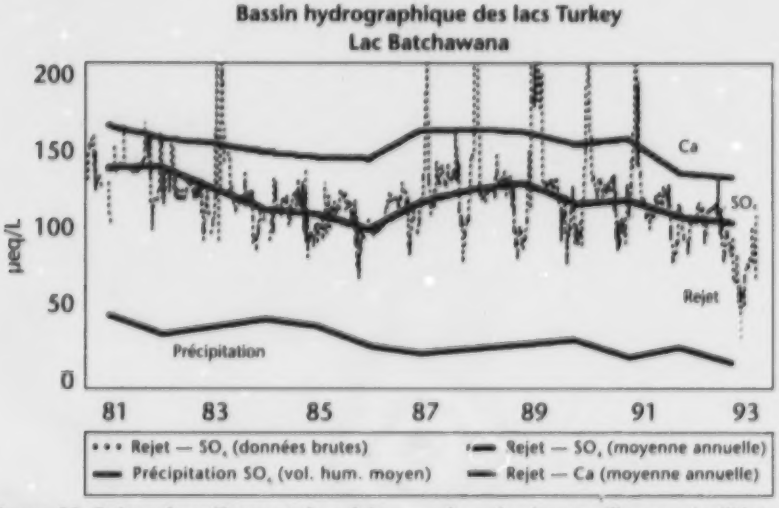


Figure 10. Rejets de sulfates et de calcium — données brutes (ligne pointillée) et moyennes annuelles (lignes continues)

Source : Weighted annual wet-only precipitation sulphate, Summers, 1995; Jeffries, 1998.

On s'attend à ce que le rétablissement chimique et biologique des lacs du Bouclier boréal accuse un long retard par rapport aux réductions des retombées acides. Cet écart s'explique par plusieurs

facteurs. Premièrement, les réductions des émissions de dioxyde de soufre sont trop récentes pour observer des réponses significatives dans de nombreux lacs. Deuxièmement, la sécheresse induite par le réchauffement climatique risque d'entraver le rétablissement des lacs (Bayley *et al.*, 1986; Yan *et al.* 1996; Dillon *et al.*, 1997). Troisièmement, malgré la diminution récente des retombées acides, certains lacs ont continué de subir des modifications chimiques qui, en plus d'affaiblir sérieusement leur pouvoir tampon, pourraient avoir causé des dommages irréversibles aux systèmes aquatiques (Clair *et al.*, 1995; Jeffries *et al.*, 1995). Des données recueillies dans plusieurs lacs de tête illustrent bien l'ampleur de ces changements (figure 11). Quatrièmement, comme l'avaient prédit Minns *et al.* (1990), les concentrations atmosphériques d'acides forts sont généralement encore trop élevées pour permettre le rétablissement de nombreux lacs sensibles aux acides.

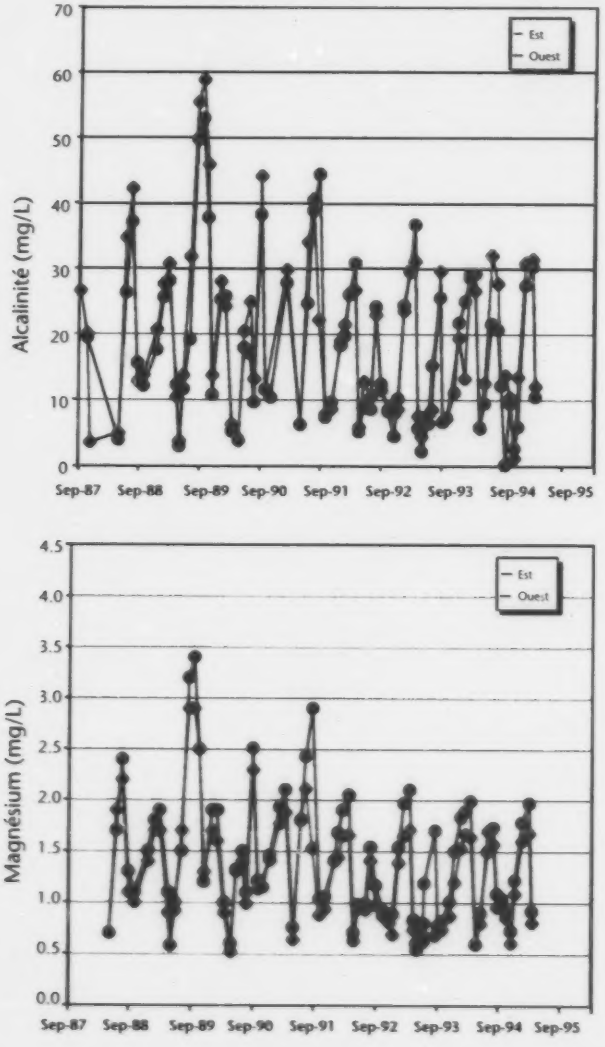


Figure 11. Fluctuations temporelles de l'alcalinité et des concentrations de calcium, de magnésium et de sulfates dans le parc national Pukaskwa (Ontario), 1987–1995

Source : McCrea et Burrows, 1998.

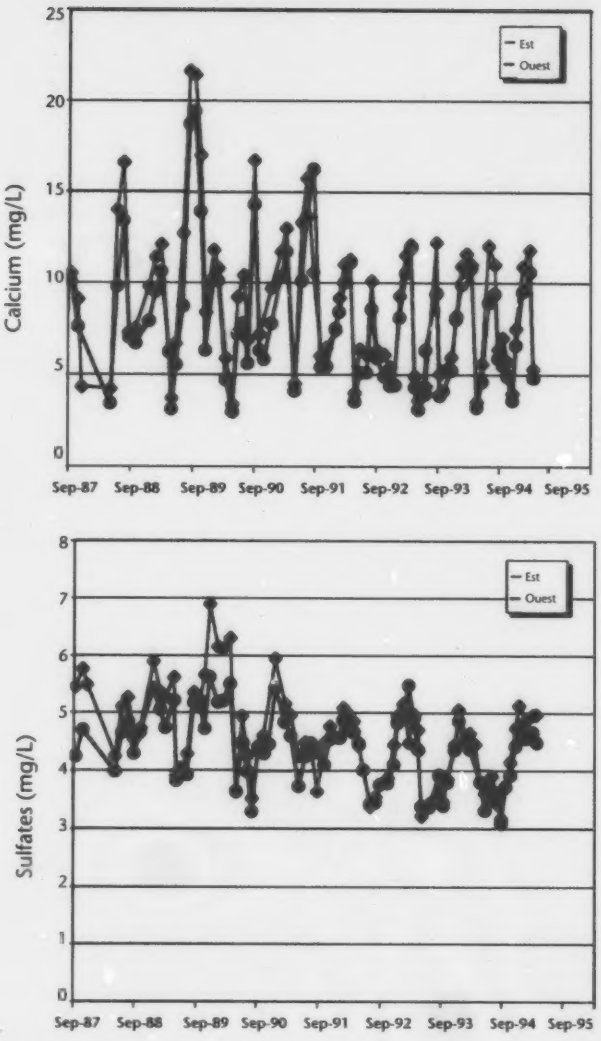


Figure 11. Fluctuations temporelles de l'alcalinité et des concentrations de calcium, de magnésium et de sulfates dans le parc national Pukaskwa (Ontario), 1987–1995

Source : McCrea et Burrows, 1998.

Les programmes de surveillance environnementale mis en œuvre à l'échelle du Bouclier boréal ont révélé l'ampleur des effets de l'acidification sur les écosystèmes terrestres et aquatiques, la complexité de leurs interactions et la dynamique du rétablissement des écosystèmes. Il est essentiel de continuer d'exercer cette surveillance afin d'évaluer l'efficacité des futures mesures réglementaires mises de l'avant et d'examiner les nombreuses questions encore sans réponse soulevées par la recherche. Un survol des priorités se rattachant à la surveillance environnementale des retombées acides est présenté à l'annexe 1.

4.3 Rayonnement ultraviolet B

L'augmentation spectaculaire de l'exposition aux rayons ultraviolets nocifs émis par le soleil constitue une source de préoccupation croissante au Canada. On sait très peu de choses sur les tendances liées au rayonnement UVB à l'échelle du Bouclier boréal, car les recherches sur ce facteur d'agression ne font que débuter. Toutefois, des mesures spectrales du rayonnement UVB prises entre 1989 et 1993 à Toronto (Ontario), juste au sud du Bouclier boréal, indiquent que l'intensité lumineuse à des longueurs d'onde avoisinant 300 nm s'est accrue de 35 % par année en hiver et de 7 % par année en été. À des longueurs d'onde variant entre 320 et 325 nm, la situation est demeurée pratiquement stable (Kerr et McElroy, 1993). On ne sera pas en mesure de se prononcer sur les conséquences de cette exposition accrue pour les écosystèmes du Bouclier boréal tant que d'autres recherches sur les effets biologiques du rayonnement UVB n'auront pas été entreprises. Toutefois, il est clair que de nombreux organismes terrestres et aquatiques sont sensibles à ce facteur d'agression (Bothwell *et al.*, 1994; Vinebrook et Leavitt, 1996).

Les études de surveillance menées dans les forêts ontariennes du Bouclier boréal portent à croire que le pin blanc et l'épinette rouge sont très sensibles à l'augmentation du rayonnement UVB durant la période critique des six premières semaines de leur saison de croissance (Percy, 1997). Réduction de la vigueur et de l'activité photosynthétique, échaudage et sénescence précoce des aiguilles sont au nombre des multiples symptômes observés chez les conifères par suite de l'augmentation du rayonnement UVB. La sensibilité des arbres semble varier selon l'endroit où ils se trouvent (Percy, 1997). Par exemple, les espèces établies en altitude semblent moins affectées par la hausse du rayonnement. Cette étude a également révélé que le ralentissement de l'activité photosynthétique induite par les rayons UVB s'intensifie à mesure que la température décroît. Des recherches en laboratoire ont indiqué qu'une augmentation de l'exposition au rayonnement UVB pourrait se traduire par une réduction de la production de biomasse chez la plupart des espèces de conifères du Bouclier boréal. Les effets à long terme d'une exposition accrue aux rayons UVB sur la santé et la productivité des forêts de l'écozone demeurent à déterminer.

Les résultats d'études en cours sur les effets nocifs du rayonnement UVB sur les lacs du Bouclier boréal donnent à croire que la faune invertébrée des cours d'eau est particulièrement sensible à ce facteur d'agression (Schindler et Donahue, comm. pers., 1997). Les organismes vivant en eau profonde ou au fond de l'eau peuvent également subir les effets néfastes de la hausse du rayonnement UVB lorsqu'ils s'aventurent ou sont transportés vers les eaux de surface. L'élévation du rayonnement UVB pourrait également modifier considérablement les caractéristiques thermiques des lacs du Bouclier boréal.

Le COD est le principal facteur qui réduit le rayonnement ultraviolet dans les lacs du Bouclier boréal. Le réchauffement climatique ou l'acidification ayant provoqué une réduction des concentrations de COD, la transparence de l'eau s'est accrue, et les rayons UVB pénètrent maintenant les plans d'eau plus en profondeur. Cette exposition accrue, conjuguée à l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, contribue à amplifier par plusieurs ordres de grandeur la menace que pose le rayonnement ultraviolet pour les lacs du Bouclier boréal (Schindler, 1998). Ces derniers subissent donc les effets combinés du réchauffement climatique, de l'acidification et de l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, trois facteurs qui contribuent à l'augmentation de l'exposition au rayonnement UVB.

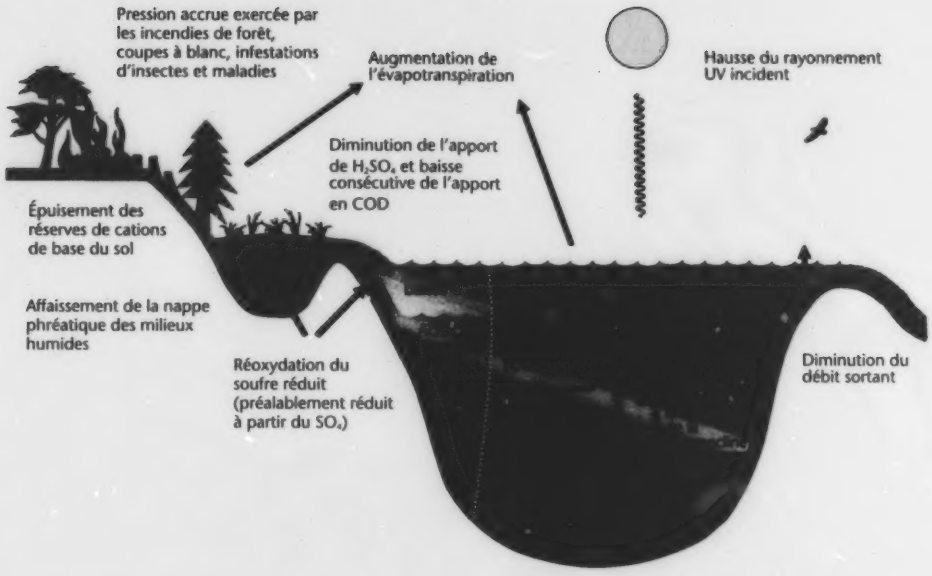


Figure 12. Effets physiques et chimiques conjugués des retombées acides, du réchauffement climatique et de l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique

Source : Schindler, 1998.

La réduction nette de l'ozone stratosphérique au-dessus des régions situées à des latitudes moyennes, donc au-dessus d'une bonne partie du Bouclier boréal, est passée inaperçue jusqu'à la fin des années 1980. C'est grâce aux programmes de surveillance environnementale à long terme que le problème a été mis au jour. Selon Wardle (1997), même si les concentrations d'ozone stratosphérique devaient augmenter, inversant du fait même les tendances actuelles liées au rayonnement UVB, il faudrait de nombreuses années avant d'observer les premiers signes de rétablissement des systèmes boréaux. Entre-temps, les rayons UVB continueront vraisemblablement d'atteindre les couches plus profondes des lacs et des cours d'eau du Bouclier boréal, quel que soit l'état de la couche d'ozone stratosphérique, à moins que les tendances actuelles liées à l'acidification et au réchauffement climatique s'inversent.

L'augmentation de l'exposition aux rayons UVB est l'un des facteurs d'agression les plus complexes et les moins bien compris qui menacent le Bouclier boréal. Ce n'est qu'en continuant de surveiller la couche d'ozone stratosphérique et le rayonnement UVB incident et leurs effets sur les écosystèmes du Bouclier boréal que les scientifiques et les décideurs parviendront à saisir la véritable ampleur du danger posé par ce facteur d'agression et, si possible, à trouver des solutions au problème. En conséquence, la recherche sur le rayonnement UVB et les programmes de surveillance devraient être assujettis aux objectifs prioritaires suivants :

- identifier les espèces les plus sensibles et déterminer leur seuil de vulnérabilité;
- déterminer les caractéristiques biochimiques et physiologiques conférant cette sensibilité ou cette résistance;
- déterminer les effets de l'exposition au rayonnement UVB sur la cuticule des feuilles, la photosynthèse, l'ADN et la reproduction;

- évaluer le risque que les rayons UVB réduisent la biodiversité des écosystèmes forestiers;
- sélectionner des sites de surveillance de l'état des forêts afin de mesurer en permanence l'intensité du rayonnement UVB;
- élaborer des modèles des effets du rayonnement UVB sur la croissance des semis.

4.4 Transport à grande distance des polluants

Au cours des 50 dernières années, l'utilisation de pesticides et de composés chimiques organochlorés à l'échelle planétaire a favorisé la dispersion de ces contaminants persistants par transport à grande distance sur un très vaste territoire. Les programmes de surveillance entrepris dans la région des lacs expérimentaux, dans le nord-ouest de l'Ontario, ont révélé que des quantités importantes de pesticides organochlorés se déposent dans les lacs du Bouclier boréal (Muir *et al.*, 1990, 1996; Lockhart *et al.*, 1993). Ces quantités ne causent pas d'effets toxiques aigus, mais on ignore leurs effets chroniques à long terme. Les données amassées dans le cadre de ces programmes portent à croire que les polluants organiques persistants s'accumulent dans certains tissus des invertébrés, poissons et vertébrés supérieurs du Bouclier boréal et risquent d'entraîner à plus long terme le déclin des populations exposées et de perturber le fonctionnement des écosystèmes (Fairchild *et al.*, 1992; Servos *et al.*, 1992a, b; Thompson, 1996).

L'incidence écologique et toxicologique des concentrations sublétales de composés-traces organiques préoccupe de plus en plus la communauté scientifique. En effet, certaines substances chimiques, même si elles sont présentes en très faibles quantités, peuvent perturber sérieusement le fonctionnement des écosystèmes en catalysant les réactions d'autres substances chimiques. Les effets cumulatifs, synergiques et antagonistes des polluants organiques, de même que leurs interactions avec les précipitations acides, le changement climatique et d'autres facteurs d'agression, soulèvent de nombreuses interrogations. À l'heure actuelle, ces questions demeurent en grande partie sans réponse pour une bonne part du territoire canadien, en particulier le Bouclier boréal.

En égard aux nombreuses interrogations et inquiétudes soulevées à l'échelle internationale par le transport à grande distance des polluants organiques persistants, du mercure et d'autres métaux lourds, il est impératif d'intensifier la surveillance des contaminants atmosphériques. Il faut également poursuivre la recherche afin d'établir à quel rythme ces polluants s'accumulent dans l'environnement et de déterminer leurs effets sur les écosystèmes du Bouclier boréal.

5 Indicateurs de changement choisis

5.1 Incendies de forêt

Le feu est une facteur de perturbation naturelle qui joue un rôle très important à l'échelle du Bouclier boréal. La plupart des espèces d'arbres qui y vivent se sont si bien adaptées aux incendies de forêt de forte intensité que leur régénération est généralement compromise en l'absence de feu. C'est un exemple classique d'écosystème dépendant du feu. Les feux ravagent de plus vastes territoires et surviennent plus fréquemment dans cette écozone que dans toute autre région forestière du Canada (Stocks *et al.*, 1996). La superficie brûlée chaque année varie entre 0,7 et 7,0 millions d'hectares, la moyenne étant de 2,9 millions d'hectares.

Les données régionales disponibles indiquent que la superficie brûlée chaque année diminue généralement du nord au sud et de l'ouest à l'est, passant de 1,53 % dans le nord du Manitoba et de la Saskatchewan à 0,34 % dans le nord de l'Ontario et du Québec.

Si cet écart peut s'expliquer en partie par des différences climatiques, il résulte principalement de la mise en œuvre de mesures de protection plus efficaces contre les incendies dans les régions situées plus au sud.

Mis à part ces disparités régionales à l'intérieur de l'écozone, il semble que tant la fréquence des incendies que les superficies ravagées ont augmenté au cours des dernières années. Comme l'indique la figure 13, un plus grand nombre d'incendies a été enregistré au cours des années 1980 et 1990 qu'au cours des 50 années précédentes.

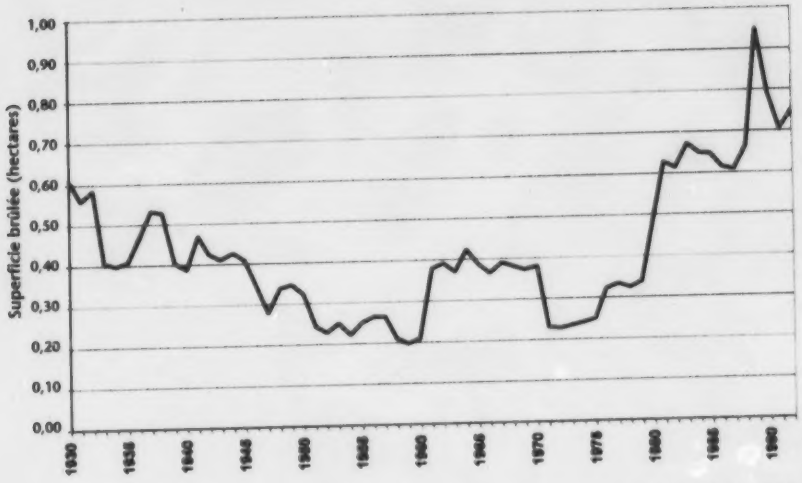


Figure 13. Superficie brûlée annuellement dans l'écozone du Bouclier boréal, 1930–1992

Source : Environnement Canada, 1996c.

Survenant de façon cyclique, les grands incendies de forêt entraînent la suppression du couvert forestier, la minéralisation de la matière organique dans les sols et, par voie de conséquence, la remise en circulation des éléments nutritifs. Les effets à court terme peuvent être importants, particulièrement dans les cours d'eau et les lacs peu profonds. Dans les deux à six années qui suivent un important incendie de forêt, le ruissellement et la charge de fond des cours d'eau peuvent augmenter considérablement (Bayley *et al.*, 1992; Beaty, 1994). La réduction de l'ombre peut également avoir une incidence sur les populations d'invertébrés et de poissons des cours d'eau. Tous ces effets font partie de la réponse normale des forêts au feu. Lorsqu'ils surviennent à des fréquences normales, ces incendies ont peu d'effets à court terme sur les systèmes d'eau douce, et aucune répercussion significative à long terme. En revanche, lorsque la fréquence des grands incendies est anormalement élevée, on observe une réduction nette de la distribution et de la densité de l'épinette noire. Bien que cette espèce tolère généralement bien le feu, elle est incapable de survivre si la fréquence des incendies s'élève anormalement. En pareil cas, elle est généralement remplacée par d'autres espèces comme le pin gris, le bouleau à papier ou le peuplier faux-tremble (Gagnon, 1998).

Compte tenu des tendances climatiques actuelles (réchauffement), on peut s'attendre à ce que les régions forestières de la partie nord du Bouclier boréal soient ravagées par de gros incendies. Ce phénomène risque d'avoir des répercussions peu souhaitables sur la composition et la structure par âge des forêts et sur le bilan mondial du carbone (Stocks *et al.*, 1996; Bastedo, 1999).

Depuis de nombreuses années, les aménagistes et les scientifiques s'interrogent sur l'importance relative des effets écologiques de l'exploitation forestière sur les écosystèmes lacustres par rapport à ceux des incendies sur ces mêmes écosystèmes. Plusieurs études de surveillance réalisées en divers endroits du Bouclier boréal fournissent des éléments de réponse utiles à ces questions. Dans le cadre du projet de recherche sur les lacs d'eau froide, près d'Atikokan (Ontario), et du projet concernant les organismes riverains et terrestres des lacs et des cours d'eau (TROLS), près d'Athabaska (Alberta), des scientifiques examinent les effets de coupes expérimentales sur les

bassins hydrographiques de ces régions. Dans le cadre d'un autre projet (Centre national d'excellence sur l'aménagement forestier durable) entrepris dans la région du réservoir Gouin (Québec), d'autres chercheurs comparent la qualité de l'eau, la diversité biologique et la structure des lacs situés dans des secteurs brûlés et dans des zones ayant fait l'objet d'une coupe à blanc. Ces études portent à croire que l'apport en éléments nutritifs inorganiques dans les lacs, la quantité de chlorophylle et la densité du zooplancton augmentent davantage à la suite d'un incendie qu'après une coupe à blanc. Toutefois, ni l'exploitation forestière ni les incendies ne semblent avoir d'effets marqués sur les assemblages d'espèces et la biodiversité du plancton des lacs.

D'après des études réalisées en divers endroits du centre de l'écozone, les peuplements de conifères semblent en voie d'être remplacés par des peuplements de feuillus dans les régions où l'exploitation forestière s'est substituée au feu comme principale source de perturbation (Hearnden *et al.*, 1992; Carleton et MacLellan, 1994). Des différences significatives liées à la composition spécifique de la couverture du sol ont également été relevées entre les sites exploités et les sites brûlés. La disponibilité relative des éléments nutritifs dans ces deux types de milieux pourrait expliquer ces disparités (Johnston et Elliott, 1996).

5.2 Insectes

Les insectes ont une incidence déterminante sur l'état des forêts du Bouclier boréal. Bien que la pollinisation des conifères soit essentiellement assurée par le vent, la pollinisation par les insectes joue un rôle tout aussi essentiel dans cette écozone que dans les autres régions (Kevan *et al.*, 1993). En plus de contribuer à la régénération des forêts, les insectes causent également une forte mortalité des arbres par la défoliation et figurent de ce fait parmi les principaux agents de renouvellement des forêts. Selon certaines estimations, le volume de bois détruit par les insectes serait équivalent à 1,5 fois celui consumé par le feu, et au tiers du volume exploité annuellement (Hall et Moody, 1994). Malgré les dégâts importants qu'elles causent parfois, de telles perturbations naturelles déterminent la diversité, la structure et la fonction des peuplements forestiers et contribuent à assurer la résilience et la pérennité à long terme des forêts (Aber et Melillo, 1991; Haack et Byler, 1993; Attiwill, 1994).

À l'échelle du Bouclier boréal, les quatre insectes suivants ravagent souvent de vastes étendues de forêts :

1. Tordeuse des bourgeons de l'épinette — épinette et sapin baumier.
2. Arpenteuse de la pruche — sapin baumier et pruche du Canada.
3. Tordeuse du pin gris — pins.
4. Livrée des forêts — peupliers.

Les grandes infestations causées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans l'écozone du Bouclier boréal entraînent souvent une réduction de l'importance relative du sapin baumier dans le couvert forestier. Bien que l'épinette blanche et l'épinette noire soient moins vulnérables que le sapin baumier aux attaques de la tordeuse, leur reproduction est compromise en cas d'infestation, car les chenilles, en dévorant les fleurs femelles, réduisent la production de cônes (Blais, 1985; Howse, 1997). De façon générale, les infestations semblaient plus étendues dans les années 1970, la prolifération du ravageur étant alors probablement favorisée par les pratiques d'exploitation forestière intensive et les politiques de lutte contre les incendies en vigueur à l'époque (Blais, 1983;

Volney, 1988). Par exemple, en Ontario et au Québec, de graves infestations se sont déclarées dans de nombreux secteurs où des coupes à blanc avaient entraîné la substitution naturelle de l'épinette noire par le sapin baumier (Quaile, comm. pers., 1998). La dernière infestation de tordeuses dans ces provinces a débuté vers 1966. Au point culminant de l'infestation, en 1975, le ravageur avait défolié modérément ou gravement 54 millions d'hectares (Davidson, 1976). Les pertes infligées entre 1966 et 1981 ont été estimées à 300 millions de mètres cubes de bois, soit l'équivalent de cinq années d'exploitation forestière dans l'est du Canada (Sterner et Davidson, 1981). Même si les effectifs ont commencé à décliner lentement après 1981, ils sont demeurés élevés jusqu'en 1996, trente ans après le début de l'infestation. Entre le début de l'infestation et 1996, la tordeuse a causé la mort de sapins baumiers et d'épinettes sur 8,3 millions d'hectares en Ontario. La plupart des peuplements décimés étaient compris dans l'écozone du Bouclier boréal. Durant cette même période, l'infestation s'est rapidement propagée à Terre-Neuve (Kondo et Taylor, 1985).

Lorsque la défoliation se répète sur plusieurs années consécutives, les arbres infestés présentent une perte de vigueur, une réduction de l'accroissement en volume et des malformations et finissent par mourir. La mortalité des arbres s'accroît en fonction de la gravité et de la durée de l'infestation. Les taux de mortalité diffèrent également d'un peuplement à l'autre et selon le type d'insectes en cause. Dans le cas de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, les pertes de croissance commencent à se manifester lorsque la défoliation atteint environ 30 %. En Ontario, plusieurs années consécutives de défoliation se sont soldées par la perte de 4 000 hectares de forêt en 1998, ce qui portait à 8,5 millions le nombre d'hectares décimés par le ravageur depuis le début des années 1980 (Howse et Scarr, 1998). La figure 14 illustre l'ampleur des dommages causés aux forêts du Bouclier boréal par la tordeuse des bourgeons de l'épinette et la livrée des forêts au cours des années 1980 et de la première moitié des années 1990.

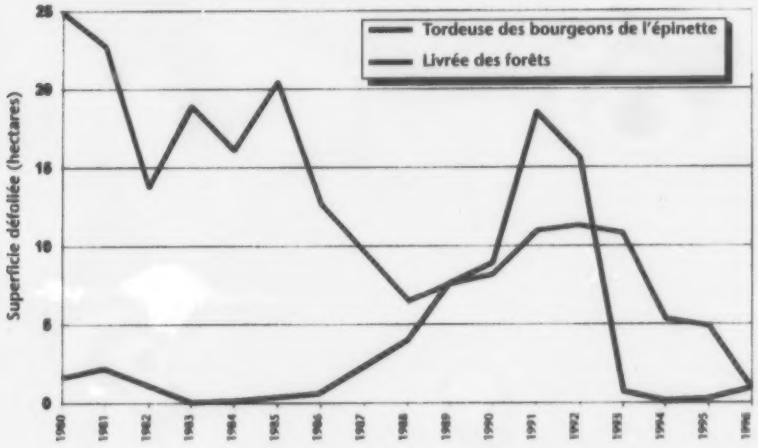


Figure 14. Dommages causés aux forêts du Bouclier boréal par la tordeuse des bourgeons de l'épinette et la livrée des forêts de 1980 à 1996

Source : Environnement Canada, 1999b.

L'arpenteuse de la pruche est un autre défoliateur qui cause des dommages importants dans les peuplements dominés par l'épinette ou le sapin baumier, en particulier à Terre-Neuve et dans les Maritimes (Raske *et al.*, 1995). Comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette, l'arpenteuse

de la pruche attaque principalement les sapins baumiers mûrs à surannés. Les infestations sont habituellement localisées, sauf à Terre-Neuve, où elles peuvent s'étendre sur plus de 215 000 hectares (Kondo et Moody, 1987; Raske *et al.*, 1995).

La tordeuse du pin gris ne provoque habituellement pas la mort d'un grand nombre de pins gris, son hôte de prédilection. Son aire de répartition semble en extension. En effet, il n'y a pas si longtemps, ce ravageur se rencontrait en Saskatchewan, au Manitoba et dans le nord-ouest de l'Ontario, et les infestations étaient isolées et confinées au sud et au centre de l'Ontario (Cerezke, 1986; Howse, 1986). Au cours des 30 dernières années, ce ravageur a rapidement étendu son aire de répartition vers l'est, et des infestations couvrant de vastes territoires ont été signalées dans le centre et l'est de l'Ontario (Howse et Meating, 1995). Les infestations se sont également intensifiées dans les provinces des Prairies, les pratiques de suppression des incendies axées sur la protection des vieux peuplements plus vulnérables y favorisant probablement la prolifération du ravageur (Volney, 1988).

La livrée des forêts est considérée comme le principal défoliateur des feuillus dans l'écozone du Bouclier boréal (Rose et Lindquist, 1982; Ives et Wong, 1988). Bien qu'elle puisse infliger de graves dommages sur de vastes territoires, cette espèce ne provoque habituellement pas la mort des arbres qu'elle attaque (Howse, 1981; Moody et Amirault, 1992). En cas de défoliation répétée, la croissance des arbres est réduite. Lorsque la défoliation s'étale sur plusieurs années consécutives, c'est leur survie même qui est compromise (Hall *et al.*, 1998). Durant une infestation récente en Ontario, la livrée a défolié des bétulaies et des peupleraies sur une superficie de 9,5 millions d'hectares (Moody, 1993). La fragmentation accrue de la tremblaie causée par l'exploitation forestière et la conversion des terres pourrait être responsable de l'augmentation de la gravité et de l'ampleur des infestations par ce ravageur dans l'écozone (Roland, 1993).

Les fluctuations des populations d'autres insectes illustrent les effets des perturbations qui touchent les forêts. Par exemple, des études effectuées dans la région de l'Abitibi (Québec) semblent indiquer qu'une coupe à blanc peut réduire jusqu'à 50 % l'abondance et la diversité des larves d'insectes (Paquin et Coderre, 1997). En revanche, une autre chercheur a noté dans le nord-ouest de l'Ontario une augmentation de la diversité des guêpes et des abeilles à la suite d'une coupe ou d'une infestation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Fye, 1972). Plusieurs insectes, dont la tordeuse des bourgeons de l'épinette, étendent actuellement leur aire de répartition vers le nord (Fleming, 1996; Bastedo, 1999).

Pour suivre l'évolution de l'état des forêts du Bouclier boréal, il est essentiel de continuer de surveiller les changements liés à la distribution des insectes forestiers, à la gravité et à la durée des infestations et à l'abondance et à la diversité des espèces d'insectes.

5.3 Mercure

La pollution par le mercure est un effet néfaste caractéristique de l'exploitation des ressources sur le Bouclier boréal. Certaines des plus importantes mines et fonderies de métaux et fabriques de pâtes et papiers du Canada se trouvent dans cette écozone, et toutes constituent des sources ponctuelles potentielles de mercure dans l'environnement. Certaines parties de l'écozone, en particulier les secteurs où les sols sont de nature schisteuse et où l'assise rocheuse est de type

protérozoïque, contiennent naturellement de fortes concentrations de mercure. La submersion de la matière organique provoquée par la mise en eau des réservoirs hydroélectriques et le détournement du cours des rivières peuvent favoriser la remise en circulation du mercure déjà présent dans le milieu naturel. Le transport à grande distance du mercure émis dans l'atmosphère par des industries très éloignées pourrait expliquer la présence de fortes concentrations observées dans les sédiments de lacs isolés du Bouclier boréal se trouvant à des milliers de kilomètres des sources émettrices. Une fois assimilé par des organismes faisant partie des chaînes trophiques des écosystèmes terrestres et aquatiques, le mercure provenant de ces sources peut avoir des effets toxiques.

L'analyse d'échantillons de sols et de sédiments provenant du fond de lacs situés à moins de 80 km de la fonderie de métaux de Flin Flon (Manitoba) a révélé la présence de mercure à des concentrations largement supérieures à celles normalement observées dans de telles formations géologiques. Cette fonderie est cependant parvenue à réduire de façon significative ses émissions de mercure en modifiant ses procédés de traitement des métaux.

En de nombreux endroits de l'Ontario et du Manitoba, des concentrations dangereusement élevées de mercure ont été détectées dans les tissus de nombreuses espèces de poissons. La situation est devenue si critique que des directives détaillées restreignant la consommation de ces poissons ont été élaborées (Chambers, comm. pers., 1998). En Ontario, les ministères de l'Environnement et des Richesses naturelles surveillent conjointement les concentrations de contaminants dans les tissus des espèces de poisson gibier, et le ministère de l'Environnement publie tous les deux ans un document intitulé Guide de consommation du poisson gibier de l'Ontario. D'après la version 1997-1998 de ce guide, 44 % des poissons examinés provenant du nord de l'Ontario et 35 % des poissons provenant du sud de la province étaient visés par des directives restreignant leur consommation. Le guide contient 13 550 recommandations concernant la consommation du poisson, chacune se rapportant à une taille précise d'une espèce donnée de poisson provenant d'une région particulière. Le mercure était le principal contaminant en cause dans plus de 95 % des restrictions applicables aux poissons des lacs intérieurs de l'Ontario (Piche, comm. pers., 1998). Par exemple, environ 80 % des dorés de grande taille renfermaient plus de 0,5 ppm de mercure, et 10 %, plus de 1,5 ppm. Cette dernière concentration est largement supérieure à la limite de consommation permise (Mierle, 1997a).

La contamination par le mercure constitue une source de préoccupation particulière pour les Autochtones vivant dans l'écozone du Bouclier boréal, car le poisson occupe une place centrale dans le régime alimentaire de bon nombre d'entre eux. Des analyses indiquent que les concentrations de mercure sont généralement plus élevées dans le sang des Autochtones que dans celui des non-Autochtones. Pis encore, dans certains cas, les concentrations mesurées sont supérieures au seuil entraînant une intoxication par le mercure. Bien que l'examen neurologique de ces sujets n'ait révélé aucun effet toxique, la marge de sécurité en pareilles circonstances est extrêmement faible (Mierle, 1997b).

Si les effets d'une élévation des concentrations de mercure chez les humains ont fait l'objet de nombreuses recherches et d'une surveillance étroite, ils demeurent largement méconnus chez la faune. Les relations dose-réponse n'ont pas encore été déterminées de façon précise chez aucune des espèces sauvages présentes dans l'écozone du Bouclier boréal. Néanmoins, un certain nombre

d'études portent à croire qu'à des concentrations variant entre 0,3 et 2,0 ppm, le mercure peut avoir des effets toxiques (Mierle, 1997b; Evans *et al.*, 1998). Des visons sont morts après avoir été exposés pendant trois mois à une concentration de 0,9 ppm; cette même concentration a provoqué une émaciation chez le plongeon huart. À une concentration de 0,6 ppm, le mercure a complètement inhibé la reproduction chez le canard colvert. Même à des concentrations plus faibles, l'exposition alimentaire au mercure peut avoir des effets létaux et sublétaux chez diverses espèces d'oiseaux (McNicol *et al.*, 1997). Ces résultats préliminaires donnent à croire que la sensibilité au mercure diffère considérablement d'une espèce à l'autre et que les directives restreignant la consommation de poisson chez les êtres humains (établissant à environ 0,5 ppm la concentration limite) offriraient bien peu de protection aux espèces sauvages. Ces résultats indiquent également qu'il convient d'accorder une plus grande attention à la surveillance des concentrations de mercure et de leurs effets chez la faune, compte tenu de l'utilité de cet indicateur dans l'évaluation de la santé des écosystèmes de l'écozone.

5.4 Espèces exotiques

L'île de Terre-Neuve compte seulement 14 mammifères indigènes. Toutefois, cette faune s'est considérablement diversifiée par suite de l'introduction d'espèces exotiques. La descendance des quelques orignaux introduits dans l'île il y a moins de cent ans s'élève aujourd'hui à 150 000 bêtes. Parmi les autres espèces qui ont été introduites à Terre-Neuve, mentionnons le renard roux, le lièvre d'Amérique, la musaraigne cendrée, l'écureuil roux et, plus récemment, le coyote. L'incidence écologique de ces introductions demeure largement méconnue.

Le cerf de Virginie a considérablement étendu son aire de répartition au Manitoba et dans le nord-ouest de l'Ontario. La prolifération des routes secondaires ne serait pas étrangère au phénomène. Toutefois, on craint maintenant que la petite douve du foie, l'un des parasites dont le cerf est porteur, se propage au caribou des bois dans les régions où les deux espèces de cervidés se côtoient. À l'intérieur de l'écozone, la pie bavarde et le vacher à tête brune ont également étendu leur aire de répartition vers le nord.

La propagation d'insectes exotiques susceptibles de causer des dommages aux espèces d'arbres indigènes inquiète de plus en plus les gestionnaires forestiers de l'écozone (Armstrong et Ives, 1995). Au nombre des espèces qui suscitent des craintes particulières, mentionnons le diprion européen de l'épinette, le diprion du pin sylvestre, la tordeuse de l'épinette, le papillon satiné, la tenthrède du sorbier, la mineuse du bouleau, le porte-case du bouleau, la tenthrède du mélèze et, tout spécialement, le puceron lanigère du sapin. Depuis son introduction accidentelle à Terre-Neuve au cours des années 1920 ou 1930, cette dernière espèce a causé de graves dommages au sapin baumier, et elle s'est récemment propagée au continent. Le puceron lanigère du sapin et un certain nombre d'autres espèces ont fait l'objet de mesures de lutte biologique prévoyant le lâcher de prédateurs ou parasitoïdes exotiques. Ces tentatives se sont révélées efficaces à divers degrés. Si aucun agent de lutte efficace n'a encore été trouvé contre le puceron lanigère du sapin, un parasitoïde européen a donné de bons résultats contre la tenthrède du sorbier.

Certains champignons phytopathogènes, en particulier l'agent de la rouille vésiculeuse du pin blanc, causent également des dommages importants dans l'écozone du Bouclier boréal. La présence de cette espèce s'étend maintenant à toute l'aire de répartition de son hôte. Cette rouille

provoque une forte mortalité parmi les populations de pin blanc, en particulier dans les secteurs les plus méridionaux de l'écozone (Lavallée, 1974; Gross, 1985; Castello *et al.*, 1995).

L'invasion de certains lacs de l'Ontario par le cladocère prédateur (*Bythotrephes cederstroemi)* s'est soldée par une réduction de la biodiversité (Yan et Pawson, 1997). Une étude de surveillance à long terme réalisée dans un lac où cette espèce était présente a révélé que la biomasse était demeurée inchangée mais que la biodiversité avait chuté de près de 50 %, le nombre de taxons prélevés par échantillonnage passant de 13 à 7,5 par année en moyenne. L'introduction de cette espèce planctonique est considérée comme à l'origine de ce déclin spectaculaire, car les précipitations acides, les conditions climatiques, le régime thermique et les autres facteurs sont demeurés relativement constants durant la période de 20 ans sur laquelle s'est étalée la surveillance.

Dans les milieux humides du Manitoba, de l'Ontario et du Québec, la salicaire pourpre semble étendre son aire de répartition vers le nord. Cette plante est considérée comme nuisible parce qu'elle obstrue les cours d'eau et finit par déloger la quenouille et certaines autres plantes aquatiques indigènes importantes pour les espèces sauvages. Sa présence est maintenant signalée aussi au nord que The Pas et Snow Lake. Ces deux localités constituent les deux mentions les plus septentrionales en Amérique du Nord (Chambers, comm. pers., 1998).

Peu de chercheurs se sont intéressés aux effets de l'introduction d'espèces de poissons exotiques à des fins d'empoissonnement ou comme poissons-appâts vivants. Une étude réalisée dans le parc national de la Mauricie (Québec) a révélé que l'utilisation de ménés comme appâts vivants par les pêcheurs de salmonidés a considérablement modifié la composition de l'icthyofaune locale et entraîné une réduction de l'abondance des populations des espèces qui la composent (Pinel-Alloul, comm. pers., 1998).

5.5 Mammifères et oiseaux

La plupart des populations de grands mammifères habitant l'écozone du Bouclier boréal semblent stables ou en hausse. Par exemple, le statut de la harde de caribous des bois de la presqu'île Avalon (Terre-Neuve) s'est récemment stabilisé, après une période de déclin. Celui des autres populations de caribou des bois dans l'écozone est moins bien documenté et mérite d'être examiné plus à fond, l'espèce étant très sensible aux effets de l'exploitation forestière (Chubbs *et al.*, 1993; Cumming et Beange, 1993; Racey et Armstrong, 1996). La descendance des quatre orignaux introduits à Terre-Neuve en 1904 forme aujourd'hui le cheptel le plus important de toute l'écozone (LeHénaff, comm. pers., 1998). La harde de caribous de la rivière George a récemment étendu son aire d'hivernage dans les parties nord-est de l'écozone.

La harde de caribous de Val-d'Or (Québec) accuse un léger déclin (Gouvernement du Canada, 1996), tout comme celle de caribous des bois au Manitoba (Chambers, comm. pers., 1998). Faute de surveillance adéquate, on ignore le statut actuel des populations d'un certain nombre d'autres mammifères présentant un intérêt économique ou écologiquement menacés. On dispose de très peu d'informations à jour sur les populations de la martre d'Amérique, du carcajou et du couguar (population de l'Est). Le couguar est probablement disparu de la partie est de l'écozone du Bouclier boréal.

M121

IMPORTANT NOTE CONCERNING THE FOLLOWING PAGES

THE PAGES WHICH FOLLOW HAVE BEEN FILMED TWICE IN ORDER TO OBTAIN THE BEST REPRODUCTIVE QUALITY

USERS SHOULD CONSULT ALL THE PAGES REPRODUCED ON THE FICHE IN ORDER TO OBTAIN A COMPLETE READING OF THE TEXT.

REMARQUE IMPORTANTE CONCERNANT LES PAGES QUI SUIVENT

LES PAGES SUIVANTES ONT ÉTÉ REPRODUITES EN DOUBLE AFIN D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DE REPRODUCTION

LES UTILISATEURS DOIVENT CONSULTER TOUTES LES PAGES REPRODUITES SUR LA FICHE AFIN D'OBTENIR LA LECTURE DU TEXTE INTÉGRAL

Micromedia
ProQuest

20 Victoria Street
Toronto, Ontario M5C 2N8
Tel.: (416) 362-5211
Toll Free: 1-800-387-2689
Fax: (416) 362-6161
Email: info@micromedia.on.ca

En comparaison des autres écozones, seules quelques espèces forestières de l'écozone du Bouclier boréal sont considérées comme en péril par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC, 1997). Toutefois, certaines de ces espèces présentent une aire de répartition très étendue, ce qui complique la surveillance de leurs populations et la mise en place de programmes d'atténuation des impacts (tableau 3). En raison du déclin soutenu enregistré au cours des dernières années, la population de Terre-Neuve de la martre d'Amérique est récemment passée de la catégorie « menacée » à « en danger de disparition ». Une étude de modélisation porte à croire qu'un changement des pratiques forestières pourrait accroître la disponibilité des habitats essentiels pour cette espèce (Sturtevant *et al.*, 1996). La protection totale des forêts mûres est critique pour la survie de la martre d'Amérique (Thompson, 1991; Thompson et Colgan, 1994). Bien que le bec-croisé des sapins, autre espèce associée aux forêts mûres, ne figure actuellement pas sur la liste des espèces en péril du COSEPAC, ses effectifs accusent un déclin généralisé. Ce déclin est particulièrement prononcé à Terre-Neuve (Benkman, 1993a, b).

En danger de disparition			
Groupe	**Espèce**	**Province**	**Causes**
Mammifères	Couguar de l'Est	Ont., Qc	Inconnue, naturellement rare
Poissons	Omble de fontaine aurora	Ont.	Dépôts acides,pollution
Plantes	Isoète d'Engelmann	Ont.	Destruction de l'habitat, contamination chimique

Menacées			
Groupe	**Espèce**	**Province**	**Causes**
Mammifères	Martre de Terre-Neuve	T.-N.	Destruction de l'habitat (vieux peuplements)
Poissons	Cisco à nageoires noires	Ont.	Pêche commerciale
	Cisco à mâchoires égales	Ont., Man.	Pêche commerciale
	Dard gris	Qc, Ont.	Sédimentation de l'habitat aquatique
Plantes	Armeria de l'Athabasca	Sask.	Destruction de l'habitat après la construction de routes
	Chardon de Pitcher	Ont.	Destruction de l'habitat sur les plages de sable
	Saule de Tyrrell	Sask.	Destruction de l'habitat après la construction de routes
	Woodsia obtuse	Ont., Qc	Destruction de l'habitat

Tableau 3. Quelques espèces caractéristiques de l'écozone du Bouclier boréal, qui sont menacées ou en danger de disparition

Source : K. Ross, Service canadien de la faune, région de l'Ontario, communication personnelle.

En comparaison des autres écozones, seules quelques espèces forestières de l'écozone du Bouclier boréal sont considérées comme en péril par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC, 1997). Toutefois, certaines de ces espèces présentent une aire de répartition très étendue, ce qui complique la surveillance de leurs populations et la mise en place de programmes d'atténuation des impacts (tableau 3). En raison du déclin soutenu enregistré au cours des dernières années, la population de Terre-Neuve de la martre d'Amérique est récemment passée de la catégorie « menacée » à « en danger de disparition ». Une étude de modélisation porte à croire qu'un changement des pratiques forestières pourrait accroître la disponibilité des habitats essentiels pour cette espèce (Sturtevant *et al.*, 1996). La protection totale des forêts mûres est critique pour la survie de la martre d'Amérique (Thompson, 1991; Thompson et Colgan, 1994). Bien que le bec-croisé des sapins, autre espèce associée aux forêts mûres, ne figure actuellement pas sur la liste des espèces en péril du COSEPAC, ses effectifs accusent un déclin généralisé. Ce déclin est particulièrement prononcé à Terre-Neuve (Benkman, 1993a, b).

En danger de disparition			
Groupe	**Espèce**	**Province**	**Causes**
Mammifères	Couguar de l'Est	Ont., Qc	Inconnue, naturellement rare
Poissons	Omble de fontaine aurora	Ont.	Dépôts acides, pollution
Plantes	Isoète d'Engelmann	Ont.	Destruction de l'habitat, contamination chimique

Menacées			
Groupe	**Espèce**	**Province**	**Causes**
Mammifères	Martre de Terre-Neuve	T.-N.	Destruction de l'habitat (vieux peuplements)
Poissons	Cisco à nageoires noires	Ont.	Pêche commerciale
	Cisco à mâchoires égales	Ont., Man.	Pêche commerciale
	Dard gris	Qc, Ont.	Sédimentation de l'habitat aquatique
Plantes	Armeria de l'Athabasca	Sask.	Destruction de l'habitat après la construction de routes
	Chardon de Pitcher	Ont.	Destruction de l'habitat sur les plages de sable
	Saule de Tyrrell	Sask.	Destruction de l'habitat après la construction de routes
	Woodsia obtuse	Ont., Qc	Destruction de l'habitat

Tableau 3. Quelques espèces caractéristiques de l'écozone du Bouclier boréal, qui sont menacées ou en danger de disparition

Source : K. Ross, Service canadien de la faune, région de l'Ontario, communication personnelle.

5.6 Plantes et lichens

La gestion des vieilles pinèdes est une source constante de préoccupation et de controverse à l'échelle de l'écozone. Le pin rouge et le pin blanc sont tous deux en déclin à Terre-Neuve. La surexploitation est en partie responsable du déclin soutenu du pin blanc observé de Terre-Neuve au Manitoba. La présence de l'agent de la rouille vésiculeuse du pin blanc, maladie introduite qui entrave la croissance des semis, ne fait qu'empirer la situation (Gross, 1985). Le pin rouge, pour sa part, tolère mal les perturbations, probablement parce que sa diversité génétique est faible en comparaison de celle de la plupart des autres conifères de l'écozone (Mosseler *et al.*, 1991; Mosseler, 1992). Boyle (1992) et Gordon (1996) ont examiné le rôle de la diversité génétique dans le déclin de l'épinette blanche et d'autres espèces d'arbres de l'écozone du Bouclier boréal.

Bien qu'il ne figure pas dans la liste du COSEPAC (1997), l'érioderme pédicellé (*Erioderma pedicellatum*) est une espèce de lichen qui est considérée comme rare à l'échelle planétaire. En plus d'être vulnérable aux effets de l'exploitation forestière, ce lichen est très sensible à la pollution atmosphérique. Les quelques forêts mûres non exploitées de Terre-Neuve constituent aujourd'hui l'un des derniers refuges de cette espèce autrefois commune en Europe.

5.7 Sécheresse et bris et déracinement par le vent

La sécheresse et le bris et déracinement par le vent constituent une source de perturbation majeure dans les forêts du Bouclier boréal. La sécheresse, dont les effets sont plus évidents dans les milieux à sol peu profond, peut nuire directement aux arbres et aux autres plantes. La mortalité est d'autant plus importante que ce facteur d'agression agit souvent de concert avec des organismes secondaires. Les dommages peuvent être particulièrement graves lorsque les effets de la sécheresse se superposent aux dommages causés par les insectes défoliateurs durant les infestations. Ainsi, en 1993, les dommages causés par la sécheresse, les scolytes et la carie des racines ont entraîné la

En déracinant des arbres sur de vastes superficies, les vents de surface violents peuvent modifier profondément la structure des forêts (Flannigan *et al.*, 1989). Les zones de chablis sont nombreuses dans toute l'écozone du Bouclier boréal, mais leur superficie varie considérablement. En 1991, des vents violents ont ravagé de vastes étendues de forêts dans le nord de l'Ontario et du Québec. La plus grande des parcelles touchées mesurait environ 164 000 ha. Des arbres renversés ou endommagés ont été observés sur une superficie totale de 207 700 ha (Sajan et Brodersen, 1992). Dans les grands chablis, le risque d'incendie peut s'accroître considérablement. En 1973, dans le nord-ouest de l'Ontario, le vent a gravement endommagé 40 000 ha, provoquant la formation d'un vaste chablis. L'été suivant, des feux de forêt ont détruit la majeure partie de cette superficie, soit 32 000 ha (Stocks, 1975; Flannigan *et al.*, 1989).

5.8 Grenouille léopard

Bien que la grenouille léopard ne présente aucun intérêt économique à proprement parler, elle constitue un indicateur écologique important des changements qui surviennent sur l'ensemble de son aire de répartition au Canada. Seburn et Seburn (1998) affirment qu'au cours des 20 dernières années, les effectifs de cette espèce ont diminué de manière significative dans l'ouest du Canada, de la Colombie-Britannique au Manitoba. Depuis 1998, la population de la Colombie-Britannique est considérée comme en danger de disparition, et la population des Prairies, comme vulnérable (Seburn et Seburn,1998; COSEPAC, 1999). Des rapports récents donnent à croire que les populations du Manitoba ont légèrement augmenté au cours des quelques dernières années (Chambers, comm. pers., 1998; Roberts-Pichette, comm. pers., 1998).

Les effectifs de la grenouille léopard semblent en baisse dans le nord de l'Ontario. Au cours du printemps 1996, le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario a réalisé une série d'inventaires fondés sur l'écoute des coassements depuis Sudbury jusqu'à Nipigon. Dans le cadre de ce projet, une centaine de milieux humides favorables à l'espèce compris dans une vaste région où la présence de l'amphibien avait déjà été signalée ont été échantillonnés. Ces inventaires ont révélé la présence de l'espèce depuis Sudbury jusqu'à Sault Ste. Marie. Toutefois, aucune grenouille léopard n'a été entendue depuis un secteur situé au nord de Sault Ste. Marie jusqu'à Nipigon, à l'est de Thunder Bay (Seburn et Seburn, 1997).

La disparition passablement rapide de la grenouille léopard de certaines parties de son aire de répartition continue d'intriguer les scientifiques. La surveillance continue de cette espèce permettra peut-être de relier le phénomène à d'autres changements environnementaux ou au mode d'utilisation des terres.

6 Pronostic de l'état de l'écozone

En comparaison des autres écozones de la planète, le Bouclier boréal semble relativement en bonne santé sur le plan environnemental. Cette région est en effet peu peuplée, les routes, villes et industries y sont peu nombreuses, et la biodiversité est demeurée à peu près intacte. Comment la dégradation de l'environnement pourrait-elle menacer sérieusement un tel paysage?

Le présent rapport révèle qu'en apparence du moins, cet univers de granite couvert d'épinettes et de pins a conservé la majorité des éléments et processus naturels qui le caractérisent depuis des millénaires. L'eau de la plupart de ses innombrables cours d'eau demeure limpide et pure, les incendies de forêt continuent d'y façonner les paysages, et les pygargues à tête blanche, orignaux et caribous continuent d'y trouver tout ce dont ils ont besoin pour assurer leur subsistance. Cependant, les données amassées dans le cadre de divers programmes de recherche et de surveillance à long terme sont moins encourageantes et semblent indiquer que cette écozone subit actuellement des modifications écologiques d'une amplitude et d'une rapidité sans précédent.

La portée et la complexité considérables des nombreux changements décrits dans le présent rapport soulèvent des questions auxquelles les scientifiques mettront des années à trouver des réponses, si tant est qu'ils y parviennent. Par exemple, on ignore à peu près tout des effets cumulatifs de l'exploitation forestière et minière et de l'aménagement hydroélectrique sur l'écozone. Il s'agit là d'activités relativement localisées dont on devrait pouvoir atténuer les effets, en théorie du moins, une fois qu'on aura amassé les données scientifiques manquantes. Si le défi semble de taille, ce n'est rien en comparaison des inquiétudes suscitées par les sources d'agression externes comme le changement climatique, les précipitations acides et l'augmentation du rayonnement UVB. Comme le rappelait Schindler (1998), les effets cumulatifs et probablement synergiques de ces trois grands facteurs d'agression risquent de modifier profondément la dynamique de cette écozone. La détermination des effets écologiques individuels ou conjugués de ces trois grands facteurs d'agression pourrait bien représenter l'un des principaux enjeux auxquels les scientifiques canadiens devront s'attaquer au cours du prochain siècle (Van dijk, comm. pers., 1998).

En outre, les nombreux impondérables associés aux changements écologiques accélérés créent de nouvelles incertitudes concernant l'évolution de l'économie régionale. Par exemple, dans son évaluation des effets des facteurs d'agression actuels sur l'avenir de la foresterie dans les régions boréales, Stewart (1996) prédit que :

- la disponibilité de bois sera dans les meilleurs des cas compromise, selon les données, scénarios et modèles actuels;
- la production de bois sera déterminée par l'accroissement du nombre d'incidents de mortalité à grande échelle induits de façon irrégulière par le changement climatique (les modèles actuels ne permettent pas de prédire ou de simuler ces incidents);
- les incidents de mortalité à grande échelle (provoqués par la sécheresse ou les insectes) contribueront à accroître les réserves de bois constituées à l'aide de coupes de récupération, mais ils décimeront les peuplements sur pied à long terme.

7 Conclusion

En illustrant la nature extrêmement complexe des écosystèmes forestiers du Bouclier boréal et le large éventail des réponses régionales et locales aux divers facteurs d'agression environnementale et en soulignant notre incapacité de détecter ou de prévoir ces relations subtiles, le présent rapport confirme la nécessité de mettre en place à l'échelle de l'écozone un réseau de surveillance rigoureuse à long terme.

Cette surveillance doit être axée sur l'examen de questions nécessitant la création d'un vaste réseau pour la détection précoce de réponses écosystémiques importantes mais difficiles à détecter. Par exemple, pour le Bouclier boréal, le déboisement des pentes et l'accumulation de sédiments au bas des pentes – source de préoccupation majeure en régions montagneuses – doivent être considérés comme un problème de portée locale dont les effets peuvent être atténués par l'application de lignes directrices préventives (Cole, comm. pers., 1998). En conséquence, la surveillance de tels procédés doit se faire à une échelle strictement locale. La valeur d'un réseau de surveillance régional ou s'étendant à l'échelle de l'écozone réside dans sa capacité de détecter les effets de facteurs d'agression, de tendances et d'indicateurs plus globaux du type de ceux qui sont décrits dans le présent rapport.

De nombreuses pratiques et politiques prometteuses de gestion des ressources ont déjà été mises en place dans le but de renverser certaines des tendances actuelles menant à la détérioration de l'écozone du Bouclier boréal. Des représentants d'entreprises commerciales, de services publics et d'universités ont formé des partenariats novateurs de recherche appliquée afin de trouver des solutions communes à ces problèmes. Toutefois, grâce aux recherches et aux études de surveillance à long terme, les scientifiques et les gestionnaires des ressources commencent enfin à réaliser l'ampleur et l'importance des pressions que les facteurs d'agression régionaux et planétaires exercent sur cette écozone. Si l'on veut pouvoir amasser toutes les données scientifiques voulues pour mieux comprendre ces problèmes et proposer des mesures d'aménagement appropriées, il est absolument essentiel de continuer d'appuyer de façon soutenue ces recherches et la diffusion de leurs résultats.

Bibliographie

Aber, J.D. et J.M. Melillo. 1991. *Terrestrial ecosystems*. Saunders College Publishing, Holt, Rinehart and Winston, Orlando (Flor.), 429 p.

Armstrong, J.A. et W.G.H. Ives (éd.). 1995. *Insectes forestiers ravageurs au Canada*. Service canadien des forêts, Ressources Naturelles Canada, Ottawa (Ont).

Arp, P.A., T. Oja et M. Marsh. 1996. Calculating critical S and nitrate loads and current exceedances for upland forests in southern Ontario, Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 26(4):696–709.

Attiwill, P.M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management. *Forest Ecology and Management* 63:247–300.

Barsh, R.L. 1997. Forests, indigenous peoples, and biodiversity. *Global Biodiversity* 7(2):20–24.

Bastedo, J. 1999. *Shield country — life and times of the oldest piece of the planet*. Red Deer College Press, Red Deer (Alb.).

Bayley, S.E., D.W. Schindler, K.G. Beaty, B.R. Parker et M.P. Stainton. 1992. Effect of multiple fires on nutrient yields from streams draining boreal forest and fen watersheds: nitrogen and phosphorus. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49:584–596.

Bayley, S.E., R.S. Behr et C.A. Kelly. 1986. Retention and release of sulfur from a freshwater wetland. *Water, Air, and Soil Pollution* 31:101–114.

Beaty, K.G. 1994. Sediment transport in a small stream following two successive forest fires. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51:2723–2733.

Benkman, C.W. 1993a. Logging, conifers, and the conservation of crossbills. *Conservation Biology* 7:473–479.

Benkman, C.W. 1993b. The evolution, ecology and decline of the red crossbill of Newfoundland. *American Birds* 47:225–229.

Bezte, C.L., W.L. Lockhart et S.B. Brown. 1997. *Results from the biochemical and morphological analysis of white sucker downstream from the Pine Falls pulp mill and characterization of effluent toxicity and the effluent induced mixed-function oxygenase response* (1993–1995). Rapport final sur les effets des effluents non traités pour le ministère des Affaires indiennes et du Nord, Winnipeg (Man.), janvier.

Blais, J.R. 1983. Trends in the frequency, extent and severity of spruce budworm outbreaks in eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 13:539–547.

Blais, J.R. 1985. The ecology of the eastern spruce budworm: a review and discussion. Pages 49–59 *dans* : C.J. Sanders, R.W. Stark, E.J. Mullins et J. Murphy (éd.), Recent advances in spruce budworm research. Délibérations d'un Symposium tenu à Bangor (Me.) du 16 au 20 septembre 1984. Service canadien des forêts, Ottawa (Ont.).

Bodaly, R.A., R.E. Hecky et R.J.P. Fudge. 1984. Increases in fish mercury levels in lakes flooded by the Churchill River diversion, northern Manitoba. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41:682–691.

Booth, D.L., D.W.K. Boulter, D.J. Neave, A.A. Rotherham et D.A. Welsh. 1993. Natural forest landscape management: a strategy for Canada. Forestry Chronicle 69:141–145.

Bothwell, M.L., D.J. Sherbot et C.M. Pollock. 1994. Ecosystem response to solar ultraviolet-B radiation: Influence of trophic level interactions. *Science* 265:97–100.

Boyle, T.J.B. 1992. Biodiversity of Canadian forests — current status and future challenges. *Forestry Chronicle* 68:444–453.

Carleton, T.J. et P. MacLellan. 1994. Woody vegetation response to fire versus clear-cut logging: a comparative study in the central Canadian boreal forest. *Ecoscience* 1:141–152.

Castello, J.D., D.J. Leopold et P.J. Smallidge. 1995. Pathogens, patterns, and processes in forest ecosystems. *Bioscience* 45:16–24.

Cerezke, H.F. 1986. *Impact studies of the jack pine budworm,* Choristoneura pinus pinus, *in Nesbit Provincial Forest, Saskatchewan.* Pages 25–38 *dans* : Jack Pine Budworm Information Exchange, 14–15 janvier 1986, Winnipeg (Man.). Direction de la protection des forêts, ministère des Ressources naturelles, Winnipeg (Man.).

Chambers, A. 1998. Communication personnelle. Vice-Président, *Canadian Parks and Wilderness Society,* Manitoba Chapter.

Chubbs, T.E., L.B. Keith, S.P. Mahoney et M.J. McGrath. 1993. Responses of woodland caribou (*Rangifer tarandus caribou*) to clear-cutting in east-central Newfoundland. *Canadian Journal of Zoology* 71:487–493.

Clair, T.A., P.J. Dillon, J. Ion, D.S. Jeffries, M. Papineau et R.J. Vet. 1995. Regional precipitation and surface water chemistry trends in southeastern Canada (1983–91). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52:97–212.

CNUED (Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement), 1992, Action 21, Publications des Nations Unies, New York (N.Y.).

Cole, W. 1998. Communication personnelle, 2 octobre, Gouvernement de l'Ontario : courrier électronique à A. Kerr, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada.

Conseil canadien des ministres des Forêts. 1992. *Durabilité des forêts : un engagement canadien.* Hull (Qué.).

Conseil canadien des ministres de la Faune, 1990. *Une politique des espèces sauvages pour le Canada.* Disponible auprès du Service canadien de la faune, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Conseil canadien des ministres des Forêts. 1995. *Abrégé de statistiques forestières canadiennes, 1994.* Base nationale de données sur les forêts. Disponible auprès du Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ont.).

Conseil canadien des ministres des Forêts. 1997. *Critères et indicateurs de l'aménagement durable des forêts au Canada.* Disponible auprès du Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ont.).

COSEPAC (Comité sur la situation des espèces en péril au Canada). 1997. *La liste des espèces en péril au Canada* — avril 1997. Secrétariat, Service canadien de la Faune, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

COSEPAC (Comité sur la situation des espèces en péril au Canada). 1999. *La liste des espèces en péril au Canada* — avril 1999. Secrétariat, Service canadien de la Faune, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Cumming, H.G. et D.B. Beange. 1993. Survival of woodland caribou in commercial forests of northern Ontario. Forestry Chronicle 69:579–588.

Dahl, T.E. et S.C. Zoltai. 1996. Forested wetland resources: past, present and future. *dans* : Les délibérations de l'*International Symposium on the Ecology and Management of Northern Forested Wetlands*, Traverse City (Mich.), 29–31 août 1994.

Daniels, C.J. et J.H. Myers. 1995. Climate and outbreaks of the forest tent caterpillar. *Ecography* 18:353–362.

Davidson, A.G. 1976. *Relevé des insectes et des maladies des arbres. Dans* : Rapport annuel de 1975. Service canadien des forêts, Ottawa (Ont.).

Day, J.C. et F. Quinn. 1992. *Water diversion and export: learning from Canadian experience*. Publication Series No. 36. Département de géographie, Université de Waterloo, Waterloo (Ont.).

DesGranges, J.L. et G. Rondeau. 1992. *Forest bird response to natural perturbations and silvicultural practices: does logging mimic nature?* Pages 80–92 *dans* : D.H. Kuhnke (éd.), Birds in the boreal forest. Centre de foresterie du Nord, Forêts Canada, Région du Nord-Ouest, Edmonton (Alb.).

Deslandes, J.C., S. Guénette et R. Fortin. 1994. *Évolution des communautés de poissons de milieux affectés par l'aménagement du Complexe La Grande, Phase I, 1997–1992*. Rapport conjoint de la vice-présidence d'Hydro-Québec et de l'Université du Québec à Montréal, 89 p.

Dillon, P.J. 1997. Communication personnelle, novembre. Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Dorset (Ont.).

Dillon, P.J. et L.A. Molot. 1997. *Declines in phosphorus and dissolved organic carbon stream export and lake concentrations on the Precambrian Shield in central Ontario between 1978 and 1994*. Inédit. Université de Trent, Environmental and Resource Studies, Peterborough (Ont.).

Dillon, P.J., L.A. Molot et M. Futter. 1997. The effect of El Niño-related drought on the recovery of acidified lakes. *Environmental Monitoring and Assessment* 46:105–111.

Duchesne, L. et R. Ouimet. 1996. *Estimation préliminaire des charges critiques en dépôts atmosphériques de N et de S pour les forêts du Québec*. Rapport interne n° 410. Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec, 38 p.

Eaton, P.B., A.G. Gray, P.W. Johnson et E. Humdert (éd.). 1994. *L'état de l'environnement dans la région de l'Atlantique*, Environnement Canada, 457 p.

EIP (Environmental Information Partnership). 1997a. *Synthesis report of the information contained within the development reports catalogue pertaining to the Moose River Basin with particular reference to the aquatic environment*. EIP Study Office, Complexe du gouvernement de l'Ontario, Timmins (Ont.), 173 p.

EIP (Environmental Information Partnership). 1997b. *Synthesis report of the information contained within the socio-economic catalogue pertaining to the Moose River Basin*. EIP Study Office, Complexe du gouvernement de l'Ontario, Timmins (Ont.), 89 p.

Environnement Canada et Pêches et Océans Canada. 1992a. Programme fédéral de surveillance écologique (PFSE) — Lake Winnipeg, Churchill–Nelson River System. vol. 1.

Environnement Canada et Pêches et Océans Canada. 1992b. Programme fédéral de surveillance écologique (PFSE) — Lake Winnipeg, Churchill–Nelson River System. Vol. 2.

Environnement Canada. 1995. *Stratégie canadienne de la biodiversité : réponse du Canada à la Convention sur la diversité biologique*. Disponible au Bureau de la Convention sur la biodiversité, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Environnement Canada. 1996a. *Annual report on the federal–provincial agreements for the Eastern Canada Acid Rain Program*, 4 p.

Environnement Canada. 1996b. *1996 progress report on the Canada–United States Air Quality Agreement*, rapport n° En40-388/1996F, 88 p.

Environnement Canada. 1997. *Le maintien des forêts du Canada : la biodiversité de la forêt*. Série nationale d'indicateurs environnementaux, Bulletin EDE n° 97-1. Programme du rapport sur l'état de l'environnement, Bureau d'indicateurs et d'évaluation, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Environnement Canada. 1999a. *Les pluies acides*. Série nationale d'indicateurs environnementaux, Bulletin EDE n° 99-3, Programme du rapport sur l'état de l'environnement, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Environnement Canada. 1999b. *Le maintien des forêts du Canada : la récolte de bois*. Série nationale d'indicateurs environnementaux, Bulletin EDE n° 99-4, Programme du rapport sur l'état de l'environnement, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Environnement Manitoba. 1997. *Moving toward sustainable development reporting — State of the environment report for Manitoba*. Gibson, T., S. Nicol et L. Streich (éd.). State of the Environment Reporting, Manitoba Environment, Winnipeg (Man.).

Evans, R.D., E.M. Addison, J.Y. Villeneuve, K.S. MacDonald et D.G. Joachim. 1998. An examination of spatial variation in mercury concentrations in otter (*Lutra canadensis*) in south-central Ontario. *Science of the Total Environment* 213:239–245.

Fairchild, W.L., D.C.G. Muir, R.S. Currie et A.L. Yarechewski. 1992. Emerging insects as a biotic pathway for movement of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzofuran from lake sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry* 11:867–872.

Falconbridge Limited. 1992. *Report on the environment*. Toronto (Ont.).

Fenech, G. 1998. Communication personnelle. Conseiller principal en sciences. *Pluies acides : évaluation de la science et intégration des politiques*. Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada.

Flannigan, M.D., T.J. Lynham et P.C. Ward. 1989. *An extensive blowdown occurrence in northwestern Ontario*. Pages 65–71 *dans* : D.C. MacIver, H. Auld et R. Whitewood (éd.). Délibérations de la 10e Conférence sur le feu et la météorologie. Institut forestier national de Petawawa, Forêts Canada, Chalk River (Ont.).

Fleming, R.A. 1996. A mechanistic perspective of possible influences of climate change on defoliating insects in North America's boreal forests. *Silva Fennica* 30:281–294.

Fleming, R.A. et W.J.A. Volney. 1995. Effects of climate on insect defoliator population processes in Canada's boreal forests: some plausible scenarios. *Water, Air, and Soil Pollution* 82:445–454.

Fleming, R.A. et J.N. Candau. 1998. Influences of climatic change on some ecological processes of an insect outbreak system in Canada's boreal forests and the implications for biodiversity. *Environmental Monitoring and Assessment* 49:235–249.

Forest Stewardship Council. 1995. *Forest Stewardship Council principles and criteria*. Oaxaca, Mexico.

Fye, R.E. 1972. The effect of forest disturbances on populations of wasps and bees in northwestern Ontario (Hymenoptera: Aculeata). *Canadian Entomologist* 104:1623–1633.

Gagnon, G., C. Gravel, R. Ouimet, N. Dignard, R. Paquin et G. Jacques. 1994. *Le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF). II. Description des places d'étude et données de base*. Rapport de recherche n° 116. Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec, 187 p.

Gagnon, R. 1998. *Nouveau modèle d'évolution des forêts d'épinette noire.* Carrefour de la recherche forestière 1997. Inédit. Université du Québec, Québec.

Gauthier, S., A. Leduc et Y. Bergeron. 1996. Forest dynamics modelling under natural fire cycles: a tool to define natural mosaic diversity for forest management. *Environmental Monitoring and Assessment* 39:417–434.

Gordon, A.G. 1996. The sweep of the boreal in time and space, from forest formations to genes, and implications for management. *Forestry Chronicle* 72:19–30.

Gouvernement du Canada. 1996. *L'écozone du Bouclier boréal.* Pages 5-1 à 5-30 *dans : L'état de l'environnement au Canada — 1996*, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Gouvernement du Québec. 1996. *Biodiversité du milieu forestier : bilan et engagements du ministère des Ressources naturelles.* Direction de l'environnement forestier, ministère des Ressources naturelles, Charlesbourg, Québec.

Gross, H.L. 1985. *White pine blister rust: A discussion of the disease and hazard zones for Ontario.* Supplément au Symposium sur le pin blanc. Délibérations de l'Entomological Society of Ontario, 116:73–79.

Groupe de travail d'AQUAMIN (Canada). 1996. *Évaluation des effets de l'exploitation minière sur le milieu aquatique au Canada : rapport final d'AQUAMIN.* Environnement Canada, Ottawa (Ont.), 127 p.

Groupe de travail sur les émissions acidifiantes. 1997. *Vers une stratégie nationale sur les pluies acides.* Document présenté au Comité national de coordination des questions atmosphériques, Environnement Canada, 98 p.

Gunn, J.M. (éd.). 1995. *Restoration and Recovery of an Industrial Region.* Springer-Verlag, New York (N.Y.) 358 p.

Haack, R.A. et J.W. Byler. 1993. Insects and pathogens — Regulators of forest ecosystems. *Journal of Forestry* 9:32–37.

Hall, J.P. et B.H. Moody. 1994. *Décroissement causé par les insectes et les maladies des arbres au Canada, 1982–1987.* Rapport d'information ST-X-8. Service canadien des forêts, Ottawa (Ont.),14 p. [cité par Stewart *et al.*, 1997].

Hall, J.P., W. Bowers et H. Hirvonen. 1998. *Insectes et maladies des arbres au Canada : 1995.* Relevé des insectes et des maladies des arbres, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ont.), 72 p.

Hall, P., W. Bowers, H. Hirvonen, G. Hogan, N. Foster, I. Morrison, K. Percy, I. Cox et P. Arp. 1997. *Les pluies acides au Canada, rapport d'évaluation de 1997*, vol. 4, Les résultats, Environnement Canada, Ottawa (Ont.) 46 p.

Hearnden, K.W., S.V. Millson et W.C. Wilson. 1992. *A report on the status of forest regeneration.* Comité indépendant de vérification forestière, ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, Toronto (Ont.).

Hopkin, A.A. et T. Drummond. 1996. *Hardwood tree condition in Ontario: results of FIDS unit surveys 1987–95.* Frontline Technical Note No. 22. Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Sault Ste. Marie (Ont.), 4 p.

Houle, D., R. Paquin, C. Camiré, R. Ouimet et L. Duchesne. 1997. Response of the Lake Clair watershed (Duchesnay, Quebec) to changes in precipitation chemistry (1988–1994). *Journal canadien de recherche forestière* 27(11):1813–1821.

Howse, G. et T. Scarr. 1998. *Status of important forest pests in Ontario in 1998.* Rapport préparé pour le 26e Forum annuel sur la répression des ravageurs forestiers, 16–18 novembre, Ottawa (Ont.), Service canadien des forêts, ministère des Ressources naturelles du Canada et ministère des Ressources naturelles de l'Ontario.

Howse, G.M. 1981. *Losses from and control of spruce budworm and other insects in the boreal mixedwood forest.* Pages 239–251 *dans* : R.D. Whitney et K.M. McClain (vice-président). Délibérations du symposium du COJFRC O-P-9. Symposium sur les essences mélangées, 1980, Thunder Bay (Ont.), Centre de foresterie des Grands Lacs, Service canadien des forêts, Environnement Canada, Sault Ste. Marie (Ont.).

Howse, G.M. 1986. *Jack pine budworm in Ontario. Pages 47–50 dans : Jack Pine Budworm Information Exchange,* 14–15, janvier 1986, Winnipeg (Man.). Direction de la protection des forêts, ministère des Ressources naturelles, Winnipeg (Man.).

Howse, G.M. 1997. Forest health conditions in Ontario. Centre de foresterie des Grands Lacs, Service canadien des forêts, Sault Ste. Marie (Ont.), bulletin en direct http://www.glfc.forestry.ca/english/onlinep/fhbfall.htm

Howse, G.M. et J.H. Meating. 1995. *Jack pine budworm situation in Ontario 1981–1994.* Pages 31–34 *dans* : W.J.A. Volney, V.G. Nealis, G.M. Howse, A.R. Westwood, D.R. McCollough et B.L. Laishley (éd.), Jack pine budworm biology and management. Délibérations, Jack Pine Budworm Symposium, 24–26 janvier, Winnipeg (Man.). Information Report NOR-X-342. Service canadien des forêts, Edmonton (Alb.), 158 p.

Howse, G.M. et M.J. Applejohn. 1993. *Forest insect and disease conditions in Ontario, summer 1993.* Survey Bulletin. Forêts Canada, Sault Ste. Marie (Ont.), 14 p.

Hudson Bay Mining and Smelting Co. Ltd. 1993. Rapport annuel. Flin Flon (Man.).

Ives, W.G.H. et H.R. Wong. 1988. *Tree and shrub insects of the Prairie provinces.* Information Report NOR-X-292. Centre de foresterie du Nord, Service canadien des forêts, Edmonton (Alb.), 327 p.

Jardon, Y., L. Filion et C. Cloutier. 1994. Long-term impact of insect defoliation on growth and mortality of eastern larch in boreal Quebec. *Ecoscience* 1:231–238.

Jeffries, D.S. (éd.). 1997. Canadian acid rain assessment. Vol. 3. *The effects on Canada's lakes, rivers and wetlands.* Environment Canada, Ottawa (Ont.), 245 p.

Jeffries, D.S. 1995. A preliminary assessment of nitrogen-based fresh water acidification in southeastern Canada. *Water, Air, and Soil Pollution* 85:433–438.

Jeffries, D.S., T.A. Clair, P.J. Dillon, M. Papineau, et M.P. Stainton. 1995. Trends in surface water acidification at ecological monitoring sites in southeastern Canada (1981–1993). *Water, Air, and Soil Pollution.* 85:577–582.

Johnston, M.H. et J.A. Elliott. 1996. Impacts of logging and wildfire on an upland black spruce community in northwestern Ontario. *Environmental Monitoring and Assessment* 39:283–298.

Kelly, C.A., J.W.M. Rudd, R.A. Bodaly, N.P. Roulet, V.L. St. Louis, A. Heyes, T.R. Moore, S. Schiff, R. Aravena, K.J. Scott, B. Dyck, R. Harris, B. Warner et G. Edwards. 1997. Increases in fluxes of greenhouse gases and methyl mercury following flooding of an experimental reservoir. Environmental Science and Technology 31:1334–1344.

Kerr, J.B. et C.T. McElroy. 1993. Evidence for large upward trends of ultraviolet-B radiation linked to ozone depletion. *Science* 262:1032–1034.

Kevan, P.G., E.A. Tikhmenev et M. Usui. 1993. Insects and plants in the pollination ecology of the boreal zone. *Ecological Research* 8:247–267.

Keys, D. 1992. *Canadian peat harvesting and the environment.* Sustaining Wetlands Issues Paper No. 1992-3. Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada), Ottawa (Ont.), 29 p.

Kondo, E.S. et B.H. Moody. 1987. *Insectes et maladies des arbres au Canada 1986.* Service canadien des forêts, Ottawa, (Ont.), 128 p.

Kondo, E.S. et R.G. Taylor. 1985. *Insectes et maladies des arbres au Canada 1984*. Service canadien des forêts, Ottawa, (Ont.), 76 p.

Kronberg, B.I. 1998. Communication personnelle, 16 septembre 1998 : lettre à A. Kerr, Bureau des indicateurs et de l'évalu[illegible]vironment Canada, Ottawa.

Lands for Life. 1998. Consolidated recommendations of the Boreal West, Boreal East and Great Lakes St. Lawrence Round Tables. Adresse du site Web : http://www.mnr.gov.on.ca/mnr/lfl/consolidated/report.html

Lavallee, A. 1974. Une réévaluation de la situation concernant la rouille vesiculeuse du pin blanc au Québec. *Forestry Chronicle* 50:228–232.

LeHénaff, A. 1998. Communication personnelle. Analyse des évaluations, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada, Ottawa.

Lockhart, W.L., P. Wilkinson, B.N. Billeck, G.J. Brunskill, R.V. Hunt et R. Wagemann. 1993. Polycyclic aromatic hydrocarbons and mercury in sediments from two isolated lakes in central and northern Canada. *Water Science and Technology* 28:43–52.

MacDonald, G.B. 1995. The case for boreal mixedwood management: an Ontario perspective. *Forestry Chronicle* 71:725–734.

Malley, D.F. 1993. Response of the population of crayfish *Orconectes virilis* in a Precambrian Shield lake to stress from cadmium at levels near the Canadian water quality guideline. Pages 389–392 *dans* : Délibérations de la 9e Conférence internationale sur les métaux lourds dans l'environnement, Vol. 1, 12–16 septembre 1993, Toronto (Ont.).

Malley, D.F., A.R. Stewart et B.D. Hall. 1996. Uptake of methyl mercury by the floater mussel, *Pyganodon grandis* (Bivalvia, Unionidae) caged in a flooded wetland. *Environmental Toxicology and Chemistry* 15:928–936.

Manitoba Environment. 1995. Rapport du Manitoba sur l'entente fédérale–provinciale relative aux pluies acides, 1994. Février 1995.

Martin, P.H. 1996. Will forest preserves protect temperate and boreal biodiversity from climate change? *Forest Ecology and Management* 85:335–341.

McAfee, B. 1998. Communication personnelle, septembre, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ont.), lettre à A. Kerr, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada.

McAndrew, B. 1998. Lands for Life or logs for jobs? *The Sunday Star*, 28 juin 1998.

McCrea, R. et F. Burrows. 1998. Communication personnelle. Centre canadien des eaux intérieures, Environnement Canada, Burlington (Ont.), et Parc national de Pukaskwa, Heron Bay (Ont.).

Mclaughlan, M. 1998. Communication personnelle, 30 septembre, *Forest Ecosystems Branch, Saskatchewan Environment and Resource Management* : lettre à A. Kerr, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada, Ottawa.

McLaughlin, D.L., J.C. Kinch, H. Liljalehto, et E. Boysen. 1996. *Hardwood Forest Health Surveys in Ontario — the first 10 years*. Ministère de l'Environnement et de l'Énergie et ministère des Ressources naturelles de l'Ontario.

McNabb, D. 1992. *Planning harvesting operations to protect forest soils*. Alberta Research Council, Edmonton (Alb.).

McNicol, D.K., M.L. Mallory, G. Mierle, A.M. Scheuhammer et A.H.K. Wong. 1997. Leeches as indicators of dietary mercury exposure in non-piscivorous waterfowl in central Ontario, Canada. *Environmental Pollution* 95(2):177–181.

Mierle, G. 1997a. Mercury in Ontario's environment. SRQ Technical Bulletin No. AqSS-6, septembre, Aquatic Science Section, Standard Development Branch, Ontario Ministry of the Environment, 3 p.

Mierle, G. 1997b. *Mercury in Ontario's environment: Who is at risk?* SRQ Technical Bulletin No. AqSS-7, septembre. Aquatic Science Section, Standard Development Branch, Ontario Ministry of the Environment, 4 p.

Mills, K. 1997. Communication personnelle, mai. Chercheur scientifique, Institut des eaux douces, Pêches et Océans Canada.

Minns, C.K., J.E. Moore, D.W. Schindler et M.L. Jones. 1990. Assessing the potential extent of danger to inland lakes in eastern Canada due to acidic deposition. III. Predicted impacts on species richness in seven groups of aquatic biota. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques 47:821–830.

Moody, B.H. 1993. *Insectes et maladies des arbres au Canada 1990*. Forêts Canada, Ottawa, 115 p.

Moody, B.H. et P.A. Amirault. 1992. *Impacts of major pests on forest growth and yield in the Prairie provinces and the Northwest Territories: A literature review*. Information Report NOR-X-324. Centre de foresterie du Nord, Forêts Canada, Edmonton (Alb.), 35 p.

Mosseler, A. 1992. Life history and genetic diversity in red pine: implications for gene conservation in forestry. *Forestry Chronicle* 68:701–708.

Mosseler, A., D.J. Innes et B.A. Roberts. 1991. Lack of allozymic variation in disjunct Newfoundland populations of red pine (*Pinus resinosa*). *Canadian Journal of Forest Research* 21:525–528.

Muir, D.C.G., A. Omelchenko, N.P. Grift, D.A. Savoie, W.L. Lockhart, P. Wilkinson et G.J. Brunskill. 1996. Spatial trends and historical deposition of polychlorinated biphenyls in Canadian mid-latitude and Arctic lake sediments. *Environmental Science and Technology* 30:3609–3617.

Muir, D.C.G., C.A. Ford, N.P. Grift, D.A. Metner et W.L. Lockhart. 1990. Geographic variation of chlorinated hydrocarbons in burbot (*Lota lota*) from remote lakes and rivers in Canada. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 19:530–542.

Munkittrick, K.R., G.J. Van Der Kraak, M.E. McMaster, C.B. Portt, M.R. van den Heuvel et M.R. Servos. 1994. Survey of receiving-water environmental impacts associated with discharges from pulp mills. 2. Gonad size, liver size, hepatic EROD activity and plasma sex steroid levels in white sucker. *Environmental Chemistry and Toxicology* 13(7):1089–1101.

Myneni, R.B., C.D. Keeling, C.D. Tucker, C.J. Asra et R.R. Nemani. 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386:698–702.

Noranda Minerals Inc. 1993. Environment report. Rouyn-Noranda (Qué.).

Ontario Ministry of Economic Development, Trade and Tourism. 1996. An economic profile of tourism in northern Ontario. Rapport interne. Tourism Policy and Research Branch. 12 p.

Ontario Ministry of the Environment. Différentes années. *Guide to eating Ontario sport fish*. Publié annuellement. Disponible au Centre d'information publique du ministère ontarien de l'Environnement, 135 St. Clair Avenue West, Toronto (Ont.).

Paquin, P. et D. Coderre. 1997. Deforestation and fire impact on edaphic insect larvae and other macroarthropods. Pages 249–162 *dans* : *Ecosystem effects of atmospheric change — sustainable development*. Délibérations d'une réunion tenue les 5 et 6 mars à Pointe-Claire (Qué.).

Percy, K. 1997. Forests. Pages 97–101 *dans* : D.I. Wardle, J.B. Kerr, C.T. McElroy et D.R. Francis (éd.). La science de l'ozone : perspective canadienne sur la couche d'ozone, Protocole de Montréal, 1987–1997, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Piche, E. 1998. Communication personnelle, 29 septembre 1998, Environmental Monitoring and Reporting Branch, Ontario Ministry of the Environment, lettre à A. Kerr, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada.

Pinel-Alloul, B. 1998. Communication personnelle, 30 octobre, Directrice du Groupe de Recherche Interuniversitaire en Limnologie et en Environnement Aquatique, Université de Montréal, commentaires écrits à A. Kerr, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada.

Quaile, G. 1998. Communication personnelle, avril. Grand conseil des Cris (du Québec), Administration régionale crie.

Racey, G.D. et E.R. Armstrong. 1996. Towards a caribou habitat management strategy for northwestern Ontario: running the gauntlet. *Rangifer* (numéro spécial) 9:159–170.

Raske, A.G., R.J. West et A. Retnakran. 1995. Hemlock looper *Lambdina fiscellaria*. Pages 141–147 *dans* : J.A. Armstrong and W.G.H. Ives (éd.), *Insectes forestiers ravageurs au Canada*, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ont.).

Riemenschneider, D.E. 1985. *Water stress promotes early flowering in jack pine*. U.S. Department of Agriculture Forest Service Note NC-331.

Roberts-Pichette, P. 1998. Communication personnelle, 2 octobre, commentaires écrits à A. Kerr, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada.

Roland, J. 1993. Large scale forest fragmentation increases the duration of tent caterpillar outbreak. *Oecologia* 93:25–30.

Rose, A.H. et O.H. Linquist. 1982. *Insectes des feuillus de l'est du Canada*. Rapport technique 29, Service canadien des forêts, ministère de l'Environnement, Ottawa (Ont.).

Rubec, C.A.A., P. Lynch-Stewart, I. Kessel-Taylor et G.M. Wickware. 1988. *Utilisation des terres humides au Canada*. Chapitre 10 *dans* : Terres humides du Canada, série de la classification écologique du territoire n°24, Direction du développement durable, Environnement Canada, Ottawa (Ont.) et Polyscience Publications Inc., Montréal (Qué.).

Rudd, J.W.M. 1995. Sources of methyl mercury to freshwater ecosystems: a review. *Water, Air, and Soil Pollution* 80:697–713.

Rudd, J.W.M., M.A. Turner, A. Furutani, A.L. Swick et B.E. Townsend. 1983. The English–Wabigoon River system: I. A synthesis of recent research with a view towards mercury amelioration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40:2206–2217.

Ryan, D., O. Allen, D.L. McLaughlin, et A. Gordon. 1994. Interpretation of sugar maple (*Acer saccharum*) ring chronologies from central and southern Ontario using a mixed linear model. Canadian Journal of Forest Research 24:568–575.

Sajan, R.J. et H. Brodersen. 1992. *Results of forest insect and disease surveys in the northwestern region of Ontario 1991*. Miscellaneous Report N° 116. Forêts Canada, Sault Ste. Marie (Ont.), 32 p.

Savidge, R.A. 1998. Communication personnelle, février. Professeur de physiologie des arbres, de biochimie et de sylviculture, Faculté de la gestion forestière et environnementale, Université du Nouveau-Brunswick, Fredericton (N.-B.).

Scheuhammer, A.M. 1996. Influence of reduced dietary calcium on the accumulation and effects of lead, cadmium and aluminium in birds. *Environmental Pollution* 94(3):337–343.

Scheuhammer, A.M. et P.J. Blancher. 1994. Potential risk to common loons (*Gavia immer*) from methylmercury exposure in acidified lakes. *Hydrobiology* 279/280:445–455.

Schindler, D.W. 1998. A dim future for the boreal waters and landscapes: Cumulative effects of climate warming, stratospheric ozone depletion, acid precipitation and other human activities. *Bioscience* 48(3):157–164.

Schindler, D.W. et W. Donahue. 1997. Communication personnelle, août. Département des sciences biologiques, Université de l'Alberta, Edmonton (Alb.).

Schindler, D.W., K. Beaty, E.J. Fee, D. Cruikshank, E. de Bruyn, D. Findlay, G. Linsey, J.A. Shearer, M. Stainton et M.A. Turner. 1990. Effects of climatic warming on lakes of the western boreal forest. *Science* 250:967–970.

Seburn, C.N.L et D.C. Seburn. 1998. *Status report on the Northern Leopard Frog,* Rana pipiens, *in Canada (Western populations).* Rapport au Comité sur le statut des espèces menacées de disparition au Canada (CSEMDC), Secrétariat du CSEMDC, Service canadien de la faune, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Seburn, C.N.L. et D.C. Seburn. 1997. *Northern Leopard Frog survey of Northern Ontario: Report on a declining amphibian.* Rapport inédit au Service de l'évaluation de la faune, ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, Thunder Bay (Ont.).

SERM (Saskatchewan Environment and Resource Management). 1997. *Saskatchewan's provincial parks: Directions for the 21st century,* Regina (Sask.).

SERM (Saskatchewan Environment and Resource Management). 1999. *Saskatchewan's state of environment report 1999— the Boreal Shield ecozone.* Regina (Sask.).

Service canadien des forêts.1998. *Stratégie nationale sur les forêts 1998–2003 : Durabilité des forêts : un engagement canadien.* Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ont.)

Servos, M.R., D.C.G. Muir et G.R.B. Webster. 1992a. Environmental fate of polychlorinated dibenzo-p-dioxins in lake enclosures. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49:722–734.

Servos, M.R., D.C.G. Muir et G.R.B. Webster. 1992b. Bioavailability of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins in lake enclosures. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49:735–742.

Shaw, R.W. (éd.). 1997. *Climate variability and climate change in Atlantic Canada.* Délibérations d'un atelier de travail tenu du 3 au 6 décembre 1996 à Halifax (N.-É.). Environnement Canada, Région de l'Atlantique, Bedford (N.-É.).

Shearer, J.A. 1998. Communication personnelle. Pêches et Océans Canada, Winnipeg (Man.).

Snucins, E.J. et J.M. Gunn. 1995. Coping with a warm environment: Behavioral thermoregulation by lake trout. *American Fisheries Society* 124:118–123.

St. Louis, V.L., J.W.M. Rudd, C.A. Kelly, et L.A. Barrie. 1995. Wet deposition of methyl mercury in northwestern Ontario compared to other geographic locations. *Water, Air, and Soil Pollution* 80:405–414.

Steedman, R.J. et P. Morash. 1998. Effects of forestry and forest regeneration on aquatic ecosystems. *In* : B. Wagner et S. Columbo (éd.), Regenerating Ontario's forests. Fitzhenry and Whiteside, Markham (Ont.).

Sterner, T.E. et A.G. Davidson. 1981. *Insectes et maladies des arbres au Canada 1980.* Service canadien des forêts, Ottawa (Ont.), 43 p.

Stewart, R., E. Wheaton et D. Spittlehouse. 1997. *Climate change: Implications for the boreal forest.* Document présenté au symposium sur les implications des changements climatiques organisé par la Air and Water Waste Management Association sur le thème : What do we know?, les 22, 23 et 24 septembre, à Calgary (Alb.).

Stewart, R.B. 1996. *Forests.* Pages 187–96 *dans* : Ecosystem effects of atmospheric change — Sustainable development. Délibérations d'une réunion tenue à Pointe-Claire (Qué.), les 5 et 6 mars 1996.

Stocks, B.J. 1975. *The 1974 wildfire situation in northwestern Ontario.* Centre de foresterie des Grands Lacs, Rapport d'information O-X-232. Service canadien des forêts, Sault Ste. Marie (Ont.).

Stocks, B.J., B.S. Lee, et D.A. Martell. 1996. *Some potential carbon budget implications of fire management in the boreal forest.* Pages 8–96 *dans* : M.J. Apps et D.T. Price (éd.), Forest ecosystems, forest management and the global carbon cycle. NATO ASI Series, Subseries 1, Vol. 40, A global environmental change. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Sturtevant, B.R., J.A. Bissonette et J.N. Long. 1996. Temporal and spatial dynamics of boreal forest structure in western Newfoundland: Silvicultural implications for marten habitat management. *Forest Ecology and Management* 87:13–25.

Tarnocai, C. 1998. Communication personnelle, avril. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa.

Thompson, H.M. 1996. Interactions between pesticides; a review of reported effects and their implications for wildlife risk assessment. *Ecotoxicology* 5:59–81.

Thompson, I.D. 1991. Could marten become the spotted owl of eastern Canada? *Forestry Chronicle* 67:136–140.

Thompson, I.D. et D.A. Welsh. 1993. Integrated resource management in boreal forest ecosystems — impediments and solutions. *Forestry Chronicle* 69:32–39.

Thompson, I.D. et P.W. Colgan. 1994. Marten activity in uncut and logged boreal forests in Ontario. *Journal of Wildlife Management* 58:280–288.

Van dijk, A. 1998. Communication personnelle, 28 septembre, Parc national de la Mauricie, lettre à A. Kerr, Bureau des indicateurs et de l'évaluation, Environnement Canada.

Vinebrook, R.D. et P.R. Leavitt. 1996. Effects of ultraviolet radiation on periphyton in an alpine lake. *Limnology and Oceanography* 41:1035–1040.

Volney, W.J.A. 1988. Analysis of historic jack pine budworm outbreaks in the Prairie provinces of Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 18:1152–1158.

Wardle, D.I. 1997. Trends in ozone over Canada, ozone depleting substances and the UV-B. Pages 66–74 *dans* : Délibérations de la Conférence internationale spéciale : *Emerging Air Issues for the 21st Century: The Need for Multidisciplinary Management — An International Management Conference*, 20–24 septembre, Calgary (Alb.). Air and Waste Management Association, Pittsburgh (Penn.).

Watmough, S. et T. Hutchinson. 1998. *Rapport final sur la dendrochimie du déclin de l'érable à sucre dans le centre de l'Ontario.* Projet en sous-traitance préparé pour le Bureau de coordination de la surveillance écologique, Environnent Canada, Burlington (Ont.).

Welsh, D.A. et L.A. Venier. 1996. Binoculars and satellites: developing a conservation framework for boreal forest wildlife at varying scales. *Forest Ecology and Management* 85:53–65.

Wood, J.A. 1997. Communication personnelle. Évaluation de la santé des écosystèmes, Région des Prairies et du Nord, Environnement Canada, Regina (Sask.).

Woodwell, G.M., F.T. Mackenzie, R.A. Houghton, N.J. Apps, E. Gorham et E.A. Davidson. 1995. *Will the warming speed the warming?* Pages 393–411 *dans* : G.M. Woodwell et F.T. Mackenzie (éd.), Biotic feedbacks in the global warming climatic system, Oxford University Press, New York (N.Y.).

Yan, N.D. et T.W. Pawson. 1997. Changes in the crustacean zooplankton community of Harp Lake, Canada, following invasion by *Bythotrephes cederstroemi*. *Freshwater Biology* 37:409–425.

Yan, N.D., W. Keller, N.S. Scully, D.R.S. Lean et P.J. Dillon. 1996. Increased UV-B penetration in a lake owing to drought-induced acidification. *Nature* 381:141–143.

Annexe 1. Priorités en matière de surveillance des effets des retombées acides sur l'environnement

Plusieurs évaluations et rapports récents énumèrent les priorités qui doivent orienter la recherche et la surveillance des effets des retombées acides sur l'environnement.

L'évaluation des effets des pluies acides sur les forêts du Canada menée en 1997 (Hall *et al.*, 1997) contenait les recommandations suivantes :

a) Poursuivre les analyses des dépôts de sulfates et de nitrates et raffiner les modèles des charges critiques et des dépassements connexes.

b) Déterminer les charges critiques des polluants que les arbres peuvent tolérer sans subir des effets à court terme ou des séquelles permanentes.

c) Cartographier la répartition des charges critiques et des zones de dépassement pour les écosystèmes forestiers particulièrement menacés par les précipitations acides.

d) Intégrer un large éventail de caractéristiques écologiques des écosystèmes forestiers dans le processus d'évaluation de l'état des forêts canadiennes et d'analyse des tendances.

e) Utiliser pour l'évaluation de l'état des forêts une approche globale permettant d'établir des liens entre les facteurs d'agression et leurs effets cumulatifs.

f) Maintenir les réseaux de recherche fondamentale et de surveillance voulus pour élaborer, améliorer et surveiller les principaux indicateurs de l'état des forêts et faciliter l'extrapolation des résultats aux échelles régionale et nationale.

L'évaluation des effets des pluies acides sur les lacs, cours d'eau et milieux humides du Canada (Jeffries *et al.*, 1997) formulait les recommandations suivantes pour l'évaluation du niveau de rétablissement favorisé par les mesures de réduction des émissions mises en place :

a) Maintenir dans tout le sud-est du Canada des réseaux de surveillance des lacs et des cours d'eau possédant la sensibilité voulue pour détecter l'évolution temporelle des problèmes dus à l'acidification.

b) Maintenir un petit nombre de sites de surveillance écologique intensive dans le sud-est du Canada afin de déterminer les causes des changements observés.

c) Réévaluer sur place l'état des lacs déjà étudiés afin d'évaluer les taux de rétablissement à l'échelle régionale. Presque aucun lac n'a été étudié depuis la fin des années 1980, et la base de données régionale n'est pas à jour.

d) Rétablir ou maintenir les programmes de surveillance des effets biologiques de l'acidification qui ont été interrompus ou qui sont en voie de l'être.

e) Le financement des travaux de recherche sur l'acidification expérimentale et le rétablissement de lacs entiers étant inadéquat, alors même que le problème posé par l'acidification des lacs est loin d'être résolu, relever le niveau de financement et terminer les projets en cours.

Sur le plan des connaissances, les lacunes suivantes ont été relevées (Jeffries *et al.*, 1997) :

a) effets de l'acidification causée par les polluants azotés;

b) épuisement des réserves de cations de base dans les sols;

c) intervalle de temps s'écoulant entre l'acidification des écosystèmes et leur rétablissement;

d) rôle déterminant du carbone organique dissous comme agent modulateur des réponses des écosystèmes;

e) effet de l'acidification épisodique sur les organismes aquatiques;

f) interaction avec d'autres facteurs d'agression des écosystèmes (p. ex. climat, rayonnement UVB, mercure);

g) variabilité naturelle parmi les communautés aquatiques exposées à de faibles valeurs de pH;

h) écart entre le rétablissement biologique et le rétablissement chimique;

i) composition biologique et pérennité à long terme des écosystèmes en voie de rétablissement;

j) rôle de l'acidification dans la réduction de la production primaire dans les écosystèmes sensibles;

k) effets cumulatifs de l'acidification et des autres facteurs d'agression sur la biodiversité.

Annexe 2. Noms vernaculaire et scientifique d'espèces choisies mentionnées dans le rapport

Groupe d'espèces	Nom vernaculaire	Nom scientifique
Vertébrés	Caribou des bois	*Rangifer tarandus caribou*
	Grenouille léopard	*Rana pipiens*
	Loutre de rivière	*Lutra canadensis*
	Plongeon huart	*Gavia immer*
Plantes et apparentés	Algue verte filamenteuse	*Zygogonium* sp.
	Épinette blanche	*Picea glauca*
	Épinette noire	*Picea mariana*
	Épinette rouge	*Picea rubens*
	Érable à sucre	*Acer saccharum*
	Érioderme pédicellé	*Erioderma pedicellatum*
	Peuplier baumier	*Populus balsamifera*
	Peuplier, espèces de	*Populus* spp.
	Peuplier faux-tremble	*Populus tremuloides*
	Pin blanc	*Pinus strobus*
	Pin gris	*Pinus banksiana*
	Pin rouge	*Pinus resinosa*
	Pruche du Canada	*Tsuga canadensis*
	Salicaire pourpre	*Lythrum salicaria*
	Sapin baumier	*Abies balsamea*
Autres (invertébrés, champignons, etc.)	Arpenteuse de la pruche	*Lambdina fiscellaria fiscellaria*
	Livrée des forêts	*Malacosom disstria*
	Rouille vésiculeuse du pin blanc	*Cronartium ribicola*
	Tordeuse des bourgeons de l'épinette	*Choristoneura fumiferana*
	Tordeuse du pin gris	*Choristoneura pinus pinus*
	Cladocère prédateur	*Bythotrephes cederstoemi*

Annexe 3. Unités de mesure utilisées dans le rapport

Paramètre	Symbole	Unité
Superficie	ha	hectare
	km^2	kilomètre carré
	m^2	mètre carré
Concentration	µmol/L	micromole par litre
	ppm	partie par million
Électricité	MW	mégawatt
Longeur	km	kilomètre
	m	mètre
	mm	millimètre
	nm	nanomètre
Temps	s	seconde
Volume	L	litre
	m^3	mètre cube
Poids	g	gramme
	kg	kilogramme
	kt	kilotonne
	t	tonne
Divers	µeq	microéquivalent